



Universidad
de Cartagena
Fundada en 1827

DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA

Convenio Interadministrativo 0133-2015

TOMO

0

GENERALIDADES

Cartagena de Indias – Diciembre de 2015

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	---	---

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

RECTOR

EDGAR PARRA CHACÓN

**DIRECTOR DEL INSTITUTO DE HIDRÁULICA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL
ALFONSO ARRIETA PASTRANA**

**EQUIPO TÉCNICO DEL INSTITUTO DE HIDRÁULICA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DE LA
UNIVERSIDAD DE CARTAGENA.**

DIRECTOR

Alfonso Arrieta Pastrana

Doctor en Ciencias del Mar

EQUIPO COORDINADOR

**Javier Mouthon Bello
Hermes Martínez Batista**

Doctor en Ingeniería Ambiental
Magister en Urbanismo y Desarrollo
Territorial

Mónica Eljaiek Urzola

Magister en Ingeniería Ambiental

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Mónica Agámez Anillo

Especialista en Ingeniería Sanitaria
y Ambiental

Milton Guerrero Pájaro

Magister en Urbanismo y Desarrollo
Territorial

Carlos Sabogal Lorduy

Ingeniero auxiliar

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (TOPOBATIMETRÍA)

**Mónica Agámez Anillo
Camilo Tapia V.
Alfredo Gutiérrez**

Magister en Oceanografía
Topógrafo
Hidrógrafo

COMITÉ DE HIDRÁULICA E INFRAESTRUCTURA (HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA)

Álvaro González

Doctor en ingeniería civil en el área
de recursos hídricos e ingeniería
ambiental

**Hermes Pinto Nieves
Andrés Aguirre**

Ingeniero Civil
Ingeniero Auxiliar

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

COMITÉ DE HIDRÁULICA E INFRAESTRUCTURA (ESTUDIOS DE CAMPO Y DISEÑO)

Álvaro González	Doctor en ingeniería civil en el área de recursos hídricos e ingeniería ambiental
Guilliam Barboza	Magister en Geotecnia
Javier López Grau	Ingeniero auxiliar

COMITÉ DE CALIDAD AMBIENTAL (CALIDAD DEL AGUA)

Edgar Quiñones Bolaños	Doctor en Ingeniería Ambiental
Jaime Fortich Fortich	Magister en Ingeniería Ambiental
Gamaliel Mejía Monterroza	Magister en Química
Margareth Peña Castro	Ingeniera Química

COMITÉ DE CALIDAD AMBIENTAL (COMITÉ DE CALIDAD DEL AIRE Y RUIDO)

Edgar Quiñones Bolaños	Doctor en Ingeniería Ambiental
María Elena Huertas Bolaños	Doctora en Ciencias de la Ingeniería
José A. Álvarez	Magister en Ingeniería Ambiental
Vanessa Álvarez Narváez	Ingeniera Civil
César Arciniegas Suárez	Magister en ciencias ambientales (Asesor)
Jesús de Pombo Angulo	Ingeniero auxiliar

COMITÉ DE GESTIÓN AMBIENTAL (ASPECTOS FÍSICOS)

Mónica Eljaiek Urzola	Magister en Ingeniería Ambiental
Hermes Martínez Batista	Magister en Urbanismo y Desarrollo Territorial
Melissa Girado Guzmán	Ingeniera Ambiental

COMITÉ DE GESTIÓN AMBIENTAL (ASPECTOS BIÓTICOS)

Mónica Eljaiek Urzola	Magister en Ingeniería Ambiental
Yina Amell Cáez	Bióloga
Angélica Cabarcas Mier	Magister en oceanografía física
Carlos Villa de León	Especialista en avifauna

COMITÉ DE GESTIÓN AMBIENTAL (ASPECTOS SOCIALES)

Diana Barraza	Trabajadora Social (Asesor)
----------------------	-----------------------------

COMITÉ DE SISTEMAS

Martín Monroy	Doctor en Ingeniería Telemática
----------------------	---------------------------------

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

TABLA DE CONTROL

NÚMERO VERSIÓN		0	1
ELABORÓ HERMES MARTÍNEZ	FIRMA		
	FECHA		
COORDINADOR DEL PROYECTO JAVIER MOUTHON	FIRMA		
	FECHA		
DIRECTOR DEL CONVENIO ALFONSO ARRIETA	FIRMA		
	FECHA		

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	16
3. ANTECEDENTES	18
4. OBJETIVOS.....	18
4.2. Objetivo General	18
4.3. Objetivos Específicos.....	18
5. METODOLOGÍA	19
5.1. TOMO I - Metodologías para la elaboración de los Planos topográficos y batimétricos del sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena.	19
5.2. TOMO II - Metodología para la Elaboración de Estudio integral de la calidad ambiental del sistema de Caños y Lagos.....	19
5.2.1. Metodología de determinación de la calidad ambiental del sistema de caños y lagos internos.....	21
5.2.2. Flora.....	83
5.2.3. Fauna.....	87
5.2.4. Herpetofauna (Anfibios y Reptiles).....	88
5.2.5. Avifauna.....	90
5.2.6. Análisis de los resultados.....	97
5.2.7. Metodología para la Identificación y descripción de los componentes biofísicos y socioeconómicos que se encuentran en el área de influencia del sistema de caños y lagos internos.....	101
5.2.8. Caracterización de la población	115
5.2.9. Criterios de selección.....	116
5.2.10. Sensibilización, socialización y primeros acercamientos a las comunidades.....	117

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

5.2.11. Relaciones entre la calidad ambiental del sistema de caños y lagos internos y los componentes biofísicos y socioeconómicos que se encuentran en su área de influencia..... 118

5.2.12. Metodología para el planteamiento de recomendaciones para el ordenamiento territorial del sistema de caños y lagos y su área de influencia 119

5.3. TOMO III - Metodología para la formulación del Sistema inteligente de monitoreo de calidad ambiental del recurso hídrico en la ciudad de Cartagena en el parque lineal de caños y lagos internos. 119

5.3.1. Metodología para la formulación del Protocolo de la red inteligente de monitoreo y seguimiento de la calidad del agua del sistema de caños y lagos,... 119

5.3.2. Metodología para la formulación de los Lineamientos para el control de inundaciones en el sistema de caños y lagos..... 121

5.4. TOMO IV – Metodología para la formulación del Protocolo de la red de monitoreo de calidad de aire existente en la ciudad de Cartagena. 133

5.5. Tomo V - Metodología para la formulación de los lineamientos para establecer la red de monitoreo de calidad de ruido ambiental en la ciudad de Cartagena 137

5.6. TOMO VI - Lineamientos para el diseño del sistema de alerta temprana por degradación ambiental e inundación de la ciudad..... 138

5.7. Tomo VII- Metodología para el Plan de implementación del sistema de monitoreo inteligente ambiental de la ciudad de Cartagena..... 141

5.8. TOMO VIII - Inscripción en el banco de proyecto del plan de implementación del sistema de monitoreo inteligente de la calidad ambiental del distrito de Cartagena. 143

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conformación del sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena.	20
Figura 2. Esquema metodológico del estudio integral.	21
Figura 3. Visita de reconocimiento a la zona de estudio realizada el día 25 de Julio de 2015.	24
Figura 4. Ubicación de estaciones de muestreos. Fuente: Google Earth, 2015 con adaptación de los autores.	26
Figura 5. Toma de muestra en columna de agua.	29
Figura 6. Toma de muestra de sedimento.	30
Figura 7. Mancha de hidrocarburos en horas de la mañana, en la Ciénaga de Las Quintas.	31
Figura 8. Presencia de residuos sólidos y basuras flotante en la mayoría de los cuerpos de agua.	31
Figura 9. Equipos utilizados durante las dos (2) campañas de monitoreo de los parámetros fisicoquímicos in situ.	37
Figura 10. Punto de encuentro de inicio de trabajos Miércoles 14 de Octubre de 2015 a las 05:00 am en la Marina Bomba Terpel Sector Calle 30 con Carrera 14.	38
Figura 11. Estación de Monitoreo E15 Miércoles 14 de Octubre de 2015 a las 06:00 am Debajo del Puente de Peaje acceso a Manga.	39
Figura 12. Estación de Monitoreo E3 miércoles 14 de octubre de 2015 a las 11:22 am Debajo del Puente Crespo, diagonal al CAI del mismo barrio.	39
Figura 13. Estación de Monitoreo E11 Jueves 15 de Octubre de 2015 a las 01:35 am continuo al Puente las Palmas, barrio Manga.	40
Figura 14. Estación Meteorológica instalada en la Bocana el día Miércoles 14 de Octubre de 2015.	41
Figura 15. Punto de encuentro de inicio de trabajos Martes 03 de Noviembre de 2015 a las 05:00 am en la Marina Bomba Terpel Sector Calle 30 con Carrera 14.	42
Figura 16. Estación de Monitoreo E15 Martes 03 de Noviembre de 2015 a las 09:36 am Debajo del Puente de Peaje acceso a Manga.	43

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Figura 17. Estación meteorología portable miércoles 04 de noviembre de 2015 a las 01:50 am aledaño al CAI de Manga.....	44
Figura 18. Estación de Monitoreo E2 miércoles 04de Noviembre de 2015 a las 06:35 am.	45
Figura 19. Variación diurna del oxígeno disuelto en un cuerpo de agua que contiene una gran población de algas. Fuente: Roldán (2003).....	52
Figura 20. Ubicación de las estaciones de medición de niveles. La estación Espíritu del Manglar fue reemplazada por la del Cabrero por razones logísticas para la segunda y tercera campaña de medición. Fuente: adaptado de Google Earth.....	59
Figura 21. Variación de niveles en salida de campo 29 de septiembre	60
Figura 22. Direcciones de flujo desde las 8:30 hasta las 13:00 del 29 de septiembre. Fuente: adaptado de Google Earth.	61
Figura 23. Direcciones de flujo a partir de las 13:00 del 29 de septiembre. Fuente: adaptado de Google Earth.....	62
Figura 24. Variación de niveles en salida de campo 14 de octubre.....	63
Figura 25. Direcciones de flujo hasta las 10:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth.	64
Figura 26. Direcciones de flujo desde las 10:00 hasta las 15:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth.....	65
Figura 27. Direcciones de flujo a partir de las 15:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth.	65
Figura 28. Variación de niveles en salida de campo 3 y 4 de noviembre.	66
Figura 29. Direcciones de flujo desde las 15:00 hasta las 20:30 del 3 de noviembre.....	67
Figura 30. Direcciones de flujo desde las 20:30 del 3 de noviembre hasta las 2:00 del 4 de noviembre.....	68
Figura 31. Flujograma para la estimación del caudal pico de escorrentía	73
Figura 32. Flujograma metodología del método Racional	75
Figura 33. Fuente: Elaboración Propia.....	87
Figura 34. Especies de reptiles avistadas en el área de influencia del proyecto.	88

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Figura 35. Formato de georreferenciación de los sitios de muestreo. 89

Figura 36. Formato para toma de datos de herpetofauna. 90

Figura 37. Registro de avistamiento de aves, en interacción con el ecosistema del Manglar entre la ciénaga de Las Quintas y caño Bazurto. 91

Figura 38. Formato para toma de muestras de aves. 91

Figura 39. Toma de muestras de las comunidades planctónicas utilizando red y realizando arrastre para el sistema de caños internos. 93

Figura 40. Toma de muestras con la Draga Van Been de las comunidades bentónicas en los sistemas de caños y lagos del distrito de Cartagena. 95

Figura 41. Toma y empaclado de la muestra de bentos en bolsas Ziploc. 95

Figura 42. Trampa “Pitfall” modificada, elaboración propia. 96

Figura 43. Insectos almacenados en recipientes plásticos para su posterior identificación. 97

Figura 44 Delimitación de tramos para evaluación paisajística 102

Figura 45 Ubicación de puntos de inspección paisajística. Tramos 1, 2 y 3 110

Figura 46 Ubicación de puntos de inspección paisajística. Tramos 4, 5 y 6 110

Figura 47 Ubicación de puntos de inspección paisajística. Tramos 7, 8 y 9 111

Figura 48. Esquema de Relaciones de interdependencia entre el Sistema de Caños y lagos internos y los componentes biofísicos del área de influencia. 118

Figura 49. Estructura de las directrices de la WMO. 120

Figura 50 Regresión Precipitación – Período de retorno. 127

Figura 51 MDE del sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena 129

Figura 52. Isolíneas de elevación del sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena. 130

Figura 53. Relación Área-Volumen para el sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena 132

Figura 54. Relación Volumen-Elevación para el sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena 132

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Figura 55 Relación Área-Elevación para el sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena..... 133

Figura 56. Elementos de la alerta temprana 140

Figura 57. Elementos de un Sistema de Alerta Temprana 141

Figura 58. Esquema del Ciclo de Vida de un Proyecto. 143

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes, criterios y selección de búsqueda resultados encontrados para la información secundario para el sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena.	22
Tabla 2. Coordenadas de estaciones de muestreos.	24
Tabla 3. Metodología para muestreo y preservación de muestras. STANDRD METHODS.	27
Tabla 4. Metodología para realización de análisis en el laboratorio	34
Tabla 5. Formato de recolección de datos para los parámetros Físico-químicos In Situ. .	36
Tabla 6. Formato de toma de datos para determinar las condiciones meteorológicas.	36
Tabla 7. Criterios de evaluaciones de las condiciones de calidad de agua, según normas colombianas e internacionales.	47
Tabla 8. Colores utilizados para identificar las normas colombianas e internacionales que permitieron definir los criterios de evaluación de las condiciones de calidad de agua.	49
Tabla 9. Criterios de evaluaciones de las condiciones de calidad de sedimento, según normas internacionales del NOAA (1995) y US-GS (1997).	50
Tabla 10. Criterios de evaluaciones de las condiciones de calidad de agua, según normas colombianas e internacionales para información secundaria.	54
Tabla 11. Campañas de medición de niveles.	57
Tabla 12. Localización de las estaciones de monitoreo de niveles de agua.	58
Tabla 13. Métodos para la estimación del tiempo de concentración (Tc).	70
Tabla 14. Coeficientes para cada región de Colombia.	71
Tabla 15. Coeficientes de escorrentía (C) para uso en el método Racional	76
Tabla 16. Factores de corrección (Cf) método Racional	79
Tabla 17. Grupos hidrológicos de suelos (HSG) método CN.	81
Tabla 18. Información secundaria de ecosistema de manglar.	83
Tabla 19. Ubicación de puntos de inspección	103
Tabla 20. Ubicación de puntos de inspección	104

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Tabla 21. Ubicación de puntos de inspección	105
Tabla 22. Ubicación de puntos de inspección	106
Tabla 23. Ubicación de puntos de inspección	107
Tabla 24. Ubicación de puntos de inspección	107
Tabla 25. Ubicación de puntos de inspección	108
Tabla 26. Ubicación de puntos de inspección	109
Tabla 27. Ubicación de puntos de inspección	109
Tabla 28. Criterios de valoración del paisaje.....	111
Tabla 29. Niveles de calidad de paisaje	112
Tabla 30. Relaciones de interdependencia de los componentes ambientales que conforman el ecosistema.....	118
Tabla 31 Análisis de frecuencia de precipitación (método Weibull) estación Rafael Núñez	123
Tabla 32 Eventos de precipitación de diseño (Tr 25, 50 y 100 años)	128
Tabla 33. Volúmenes de escorrentía para Tr 25, 50 y 100 años	128
Tabla 34. Valores de Elevación-Área-Volumen.....	131
Tabla 35. Definición de las Etapas del Ciclo de Vida de un Proyecto.....	142

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

1. INTRODUCCIÓN

La localización de la ciudad de Cartagena de Indias la dota de características biofísicas especiales que le permiten contar internamente con un sistema de cuerpos de agua lagunares que por interconectarse entre sí y estar rodeados de manglar en algunos tramos, forma un corredor biológico que atraviesa el casco urbano de la ciudad desde el barrio Crespo hasta el barrio Manga pasando por los barrios Marbella, Cabrero, Centro Histórico, Pie de la Popa y Bazaruto.

Este corredor biológico, que se considera una de las principales estructuras ecológicas de la ciudad y que además rodea al accidente geográfico más elevado de Cartagena conocido como el Cerro de la Popa, se conforma de seis cuerpos de agua, el primero, que se conoce caño de Juan Angola, inicia en la ciénaga de la Virgen inmediatamente al sur de la pista de aterrizaje del Aeropuerto Rafael Núñez y sigue paralelo a la Avenida Santander, hasta encontrarse con el segundo cuerpo de agua que toma el nombre de Laguna del Cabrero. La Laguna del Cabrero tiene sus límites entre el puente Benjamín Herrera hasta el puente de Chambacú; en ese punto inicia el tercer cuerpo de agua denominado Laguna de Chambacú, el cual finaliza en el puente Heredia, donde inmediatamente se encuentra con el cuarto cuerpo de agua conocido como la Laguna de San Lázaro. Esta laguna se interconecta con el Caño de Bazaruto en el punto donde se encuentra el Puente Las Palmas. El caño de Bazaruto que es el quinto cuerpo de agua corre paralelo a la avenida del Lago hasta desembocar, a la altura del puente Jiménez, en el sexto y último cuerpo de agua conocido como la Ciénaga de las Quintas que se conecta con la bahía de Cartagena en el puente Bazaruto.

El conjunto de estos cuerpos de agua es conocido como el Sistema de Caños y Lagos internos de la ciudad de Cartagena, y según el Plan de Ordenamiento territorial de la ciudad se divide en eje 1 y eje 2.

De acuerdo a lo plasmado en el estudio de (Instituto de Hidráulica y Saneamiento Ambiental, 2014); las rondas de estos cuerpos de agua han sido invadidas durante los últimos 60 años, desplazando algunos tramos de manglar y dando cabida a actividades residenciales, comerciales, institucionales y portuarias, en algunos casos formales y en otros clandestinos, que además de confinar y reducir sus espejos de agua, vierten aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento y disponen residuos sólidos de forma inadecuada.

Adicionalmente estos cuerpos de agua son receptores de las consecuencias que se derivan del fenómeno de invasión y deforestación del que ha sido testigo el Cerro de la Popa. La pérdida de cobertura vegetal que ha presentado este cerro, ha ocasionado que sus suelos se deterioren y sean más propensos a sufrir procesos de erosión. De esta forma se generan sedimentos que en épocas de lluvia son arrastrados por las escorrentías hasta depositarse, en su gran mayoría, en el sistema de Caños y Lagos internos.

Todo lo anterior ha provocado que la calidad fisicoquímica, microbiológica y biológica de estos cuerpos de agua y del ecosistema de mangle que los rodea se vea impactada

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

negativamente, llegando hasta el punto de presentar cambios aparentes en la concentración del oxígeno disuelto en los años que transcurrieron desde 1982 hasta 1994 y 1999 una concentración de 0 mg/L. Como resultado del cambio de estos parámetros, se ha deteriorado la diversidad del sistema a causa de la pérdida de hábitats esenciales, se puede afirmar de acuerdo a los resultados arrojados que las especies de este sistema tienden a adaptarse rápidamente a su medio y si este cambia simplemente perecen. El motivo de la desaparición de las especies es la alteración o desaparición de su hábitat. Como soporte de esta información, se encuentran los estudios que se han publicado desde hace una década (Ensuncho, García, & Ustáriz, 1995) donde muestran que la biodiversidad afecta a la productividad de los ecosistemas. La pérdida de especies reduce los bienes y servicios que los ecosistemas proporcionan a la sociedad (alimentación, agua potable y un clima estable).

Actualmente los cuerpos de agua del sistema de caños y lagos, donde más se ven reflejadas las situaciones antes expuestas son: el Caño Juan Angola y la Ciénaga de las Quintas.

Ahora bien, es importante destacar que no todo ha sido negativo. En los últimos seis años el distrito de Cartagena ha realizado una serie de acciones urbanas, sobre las rondas de estos cuerpos de agua, que han ayudado a protegerlos y a mejorar su calidad. Entre estas acciones se destaca: el Parque lineal puerto duro, declaración de zona de protección como el parque del manglar, Complejo de Raquetas, cerramiento con mallas de protección de la Ciénaga de las Quintas, parque lineal con ciclorutas y zonas peatonales del pie de la popa.

El mejoramiento en la calidad se demuestra analizando los datos de calidad de agua para las concentraciones de oxígeno disuelto, donde de algún modo han mejorado paulatinamente y de manera intermitente con la implementación de proyectos como la Bocana estabilizada de mareas en el año 2001 y la puesta en marcha del emisario submarino de la ciudad de Cartagena en Marzo del año 2013, sin embargo las rondas y los espejos de agua de este sistema aún presentan inconvenientes por parte de la falta de cultura de algunos de sus ciudadanos, con descargas sin control fuera del sistema de alcantarillado, utilización de los mismos como botaderos satélites de residuos sólidos e invasión de sus rondas en diversos sectores, lo que afecta notoriamente la calidad del mismo.

No obstante, se siguen evidenciando prácticas humanas inadecuadas alrededor de estos cuerpos de agua que los afectan. De esta forma queda claro que la tarea no está finalizada y por tanto es necesario seguir implementando acciones que ayuden a recuperar de un todo este importante sistema ecológico de la ciudad.

Para efectos de cumplir con los alcances de este proyecto, el Establecimiento Público Ambiental de Cartagena – EPA suscribió con la Universidad de Cartagena el convenio interadministrativo No. 0133-2015, que toma el nombre de “DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE CARTAGENA DE INDIAS” y busca cumplir con los siguientes objetivos específicos: a) Diseñar el protocolo de la red inteligente de monitoreo y seguimiento de la calidad del agua y control de

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

inundaciones del sistema Parque Lineal de Caños y Lagunas, b) Identificar las características ambientales de la franja de protección del sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena enfocado al ordenamiento territorial; c) Diseñar el protocolo de la red de monitoreo de calidad de aire existente en la ciudad de Cartagena; d) Elaborar los lineamientos para establecer la red de monitoreo de calidad de ruido ambiental en la ciudad de Cartagena, y e) Integrar protocolo y lineamientos en el desarrollo del plan de implementación del sistema de monitoreo inteligente ambiental de la ciudad de Cartagena.

Con el fin de cumplir con estos objetivos se desarrolló el estudio que se plasma en este informe y que se conforma de ocho tomos conformados de la siguiente manera:

El primer Tomo, se denomina “Planos topográficos y batimétricos del sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena”; el segundo “Estudio integral de la calidad ambiental del sistema de Caños y Lagos”, el tercero “Formulación del Sistema inteligente de monitoreo de calidad ambiental del recurso hídrico en la ciudad de Cartagena en el parque lineal de caños y lagos internos”, el cuarto se denomina “Protocolo de la red de monitoreo de calidad de aire en la ciudad de Cartagena”. El quinto se denomina “Lineamientos para establecer la red de monitoreo de calidad de ruido ambiental en la ciudad de Cartagena”, el sexto se denomina “Lineamientos para el diseño del sistema de alerta temprana por degradación ambiental e inundación de la ciudad”, el séptimo se titula “Metodología para el Plan de implementación del sistema de monitoreo inteligente ambiental de la ciudad de Cartagena”, y el octavo tomo y último se denomina “Inscripción en el banco de proyecto del plan de implementación del sistema de monitoreo inteligente de la calidad ambiental del distrito de Cartagena”.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El sistema de caños y lagos internos de la ciudad está limitado al norte y al sur por cuerpos de agua de mayor extensión como son la ciénaga de la Virgen y la bahía de Cartagena, respectivamente; y, al oriente y occidente por viviendas de uso residencial y comercial. De acuerdo al estudio (Fondo Nacional de Desarrollo- FONADE; Ingenieros Consultores-HIDROTEC; Empresa de Desarrollo Urbano de Bolívar- EDURBE, 1984), en promedio, el área superficial del sistema interconectado de cuerpos de agua internos de la ciudad es de 100 Ha.

Para la descripción de cada cuerpo de agua se tomó el informe de (Reales & Esquivia, 2010), presentado a continuación:

- **Caño Juan Angola**

Este cuerpo de agua inicia en la Ciénaga de Tesca, inmediatamente al sur de la pista de aterrizaje del Aeropuerto Rafael Núñez y sigue paralelo a la Avenida Santander cambiando sucesivamente de nombre, adoptando la designación de Laguna de Marbella, Cabrero y Chambacú, para finalmente conectarse a través de la Laguna de San Lázaro con la Bahía interna de Cartagena. Tiene una longitud aproximada de 4.12 Km., un espejo de agua de unas 10 hectáreas y con una profundidad promedio de 2.76 m

- **Laguna El Cabrero**

Este cuerpo de agua comienza desde el puente Benjamín Herrera hasta el puente de Chambacú. Tiene una longitud aproximada de 1.38 Km., un espejo de agua de unas 26 hectáreas y una profundidad promedio de 2.3 m.

- **Laguna de Chambacú**

Este cuerpo de agua comienza desde el puente del mismo nombre hasta el puente Heredia, tiene una longitud aproximada de 0.49 Km., un espejo de agua de unas 7 hectáreas y con una profundidad promedio de 2.2 m.

- **Caño Bazurto**

Circula hacia el suroeste de la ciudad, desde el puente Las Palmas a la altura de la Bahía San Lázaro y corre paralelo a la avenida Del Lago hasta desembocar en la ciénaga Las Quintas a la altura del puente Jiménez. Tiene una profundidad promedio de 1.73 m., con una longitud aproximada de 1.2 Km. y 12 hectáreas de espejo de agua.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- **Ciénaga de Las Quintas**

El sistema comienza desde el puente Jiménez hasta la Bahía de Cartagena, en el puente Bazaruto. Tiene una profundidad de 2.25 m., con una longitud aproximada de 1.29 Km. y como espejo de agua unas 30 hectáreas.

- **Laguna de San Lázaro**

Este cuerpo de agua comienza desde el puente Heredia, hasta la Bahía de Cartagena, en el puente Román. Tiene una longitud aproximada de 0.67 Km., un espejo de agua de unas 15 hectáreas y una profundidad promedio de 2.1 m.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

3. ANTECEDENTES

Los aspectos relevantes que han tenido lugar en el marco del proceso de diseño del sistema inteligente de monitoreo de la calidad ambiental de Cartagena de Indias, se desligan del interés de la Alcaldía del Distrito de Cartagena en cabeza del Establecimiento Público Ambiental –EPA Cartagena, quien inscribió en el Plan de Desarrollo AHORA SI 2013 -2015, el proyecto denominado SISTEMA DE MONITORIO DEL RECURSO HÍDRICO, EXPEDIENTE FORESTAL URBANO, MITIGACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL Y SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE, el cual se integra a través de la protección y recuperación de los cuerpos de agua internos de la ciudad como elementos estructurantes del sistema ambiental de la ciudad y la protección de la atmósfera.

Este proyecto tiene el objeto de generar un proceso de carácter unificado que permita concentrar los datos de los diferentes componentes ambientales como son recurso hídrico, aire, ruido, zonas de protección e inundación en un solo sistema que permita manejar y evaluar cada uno de los componentes y su integralidad en el ecosistema, de tal manera que pueda observar la realidad de la composición ambiental como un todo y no a través de elementos segregados cuando en la realidad el ambiente es sistémico.

4. OBJETIVOS

4.2. Objetivo General

Elaborar el plan de implementación del sistema de monitoreo inteligente de la calidad ambiental del distrito de Cartagena que permita registrar parámetros en tiempo real con los cuales se puedan determinar los riesgos de tipo ambiental y a la inundación a los que se expone la población cartagenera.

4.3. Objetivos Específicos.

- Diseñar el protocolo de la red inteligente de monitoreo y seguimiento de la calidad del agua y control de inundaciones del sistema Parque Lineal de Caños y Lagunas,
- Identificar las características ambientales de la franja de protección del sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena enfocado al ordenamiento territorial;
- Diseñar el protocolo de la red de monitoreo de calidad de aire existente en la ciudad de Cartagena;
- elaborar los lineamientos para establecer la red de monitoreo de calidad de ruido ambiental en la ciudad de Cartagena, y
- Integrar protocolo y lineamientos en el desarrollo del plan de implementación del sistema de monitoreo inteligente ambiental de la ciudad de Cartagena.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

5. METODOLOGÍA

En este aparte se presentan las metodologías definidas para cada estudio igualmente contenidas en cada tomo.

5.1. TOMO I - Metodologías para la elaboración de los Planos topográficos y batimétricos del sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena.

Este Tomo tuvo como objetivo realizar el levantamiento topográfico y batimétrico alrededor de los cuerpos de agua de la ciudad de la siguiente manera:

El levantamiento Batimétrico del área de estudio se efectuará bajo los estándares Hidrográficos Internacionales de la OHI-S44. Los datos batimétricos se recolectaran con ecosonda digital y el posicionamiento con sistema DGPS, enlazados a un computador portátil dotado con un software de recolección de datos batimétricos Hypack Max ver. 2015; este, permite seguir líneas de transepto planeadas con mayor precisión. Asimismo, puede importar y exportar datos en varios formatos, lo que da mayor agilidad en términos de cálculos de volumen, despliegue de perfiles y reducciones de marea, entre otros. Se siguen las líneas planeadas perpendiculares a la costa con una separación de 20 metros entre ellas, sobre las cuales se tomaron datos de profundidades en forma continua, con una precisión centimétrica, a estas profundidades se le aplicaron correcciones por calado, es decir la distancia medida entre la superficie del agua y el sensor (transducer). Igualmente se le aplicaron las correcciones por mareas, tomadas de los datos publicados en la página oficial del CIOH, para los días de trabajo. Este software permite importar y exportar datos en varios formatos, lo que da mayor agilidad en términos de cálculos de volumen, despliegue de perfiles y reducciones de marea, entre otros.

Para el levantamiento topográfico se tomará una franja de 9,12 km aproximadamente con un ancho de 10 m a lado y lado del cuerpo de agua; se levantará a nivel de detalle: estructuras de drenaje, puntos de vertimiento, zonas de invasión, zonas de basuras y escombros, etc. Secciones transversales típicos de cada cuerpo de agua, especificando aquellos que sean considerados críticos (zonas de invasión a la ronda o cercanía de las mismas).

Se generaran isobatas cada 1m o cada 0.2m cuando fuere e caso con planos en escala 1:2500, por cuerpo de agua.

5.2. TOMO II - Metodología para la Elaboración de Estudio integral de la calidad ambiental del sistema de Caños y Lagos.

En este Tomo se presenta el “Estudio integral de la calidad ambiental del sistema de Caños y Lagos internos de la ciudad de Cartagena” el cual partió de cuatro premisas para su elaboración.

Por un lado consideró que el sistema de caños y lagos está conformado por la masa de agua almacena en sus características batimétricas; por los sedimentos depositados en su

fondo; por su ronda hídrica; y por la flora y fauna que habita en su masa de agua y en su ronda hídrica (Ver esquema de

Figura 1).

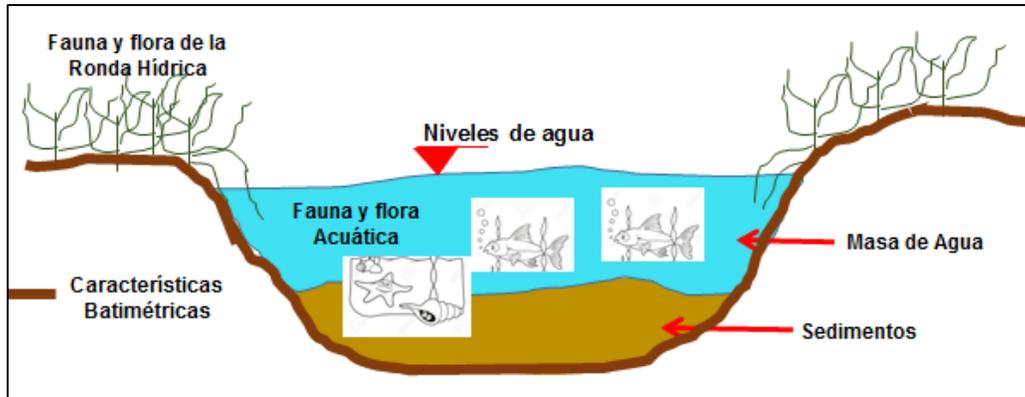


Figura 1. Conformación del sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena.

Por otro lado consideró que la calidad ambiental del sistema de caños y lagos está representada, en la calidad fisicoquímica y microbiológica de su masa de agua y sedimentos, en su comportamiento hidráulico, y en el estado de conservación de la flora y fauna que habita en sus aguas y el sus rondas hídricas.

También consideró que el sistema de caños y lagos debe estudiarse desde un enfoque integral que entiende que su calidad ambiental no solo depende del estado intrínseco de los elementos que lo conforman, sino que también depende de la interacción que tiene con los componentes biofísicos y socioeconómicos que se encuentran en su área de influencia, y con los que genera relaciones de interdependencia que condicionan y estructuran su dinámica y funcionamiento. Además porque los componentes biofísicos y socioeconómicos introducen elementos al sistema que provocan la alteración de sus características fisicoquímicas y por tanto la degradación del hábitat de las especies de fauna y flora que allí se encuentran.

Y finalmente buscó plantear recomendaciones para el ordenamiento territorial del sistema de caños y lagos y su área de influencia.

Bajo estas premisas, el estudio integral aplicó un procedimiento metodológico que agotó las etapas que se mencionan a continuación y que se representan en el esquema de la

Figura 2.

- Determinar la calidad ambiental del sistema de caños y lagos internos a partir del análisis de sus características fisicoquímicas, microbiológicas e hidráulicas, y del estado de conservación de la flora y fauna que habita en ellos y en sus rondas hídricas.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	---	---

- Identificar y describir los componentes biofísicos y socioeconómicos que se encuentran en el área de influencia del sistema de caños y lagos internos.
- Identificar y analizar las relaciones que existen entre la calidad ambiental del sistema de caños y lagos y los componentes biofísicos y socioeconómicos que se encuentran en su área de influencia.
- Plantear recomendaciones para el ordenamiento territorial del sistema de caños y lagos y su área de influencia.



Figura 2. Esquema metodológico del estudio integral.

A continuación se presentan las metodologías de cada una de las etapas de la Figura 2.

5.2.1. Metodología de determinación de la calidad ambiental del sistema de caños y lagos internos

5.2.1.1. Calidad fisicoquímica de los cuerpos de agua y de los sedimentos del sistema de caños y lagos internos.

El componente de calidad de agua se divide en dos ítems principalmente:

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- **Fase 1 – Adquisición de la información y trabajos de campo**

- *Recolección de información secundaria.*

En esta primera etapa se consultó en todas las posibles fuentes de información como datos de campo, resultados y conclusiones de estudios e investigaciones que se han realizado a nivel nacional e internacional en lo referente a los sistemas de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena; esto sirvió para determinar algunos parámetros de calidad de aguas, dándole suma importancia aquellos antecedentes que se realizaron en la zona de estudio, esto se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Fuentes, criterios y selección de búsqueda resultados encontrados para la información secundario para el sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena.

Fuente de búsqueda	Criterio de Búsqueda	Resultado	Calidad Físicoquímica, microbiológica		Hidráulica, e Hidrodinámica		Meteorológica y planos	
			Zona de estudio	Estudios similares	Zona de estudio	Estudios similares	Zona de estudio	Estudios similares
Bases de datos virtuales como Science Direct, Ambientalex.info, Engineeringvillage, ACS Publications, entre otras	Modelación, calidad de aguas	3 Artículos encontrados	X	X		X		
Libros en físico y motores de búsqueda en internet tales como Google, Yahoo, etc.	Calidad de aguas	20 libros	X	X		X	X	X
Entidades tales como EPA; CARDIQUE, EDURBE, FONADE, Universidad de Cartagena, Fundación Universitaria Tecnológico de Comfenalco, entre otros.	Estudios ambientales y calidad de aguas	5 Documentos	X	X			X	
IGAC y Google Earth	Planos de los cuerpos de agua internos de la ciudad de Cartagena	20 Planos e imágenes satelitales					X	

Una vez obtenidos los documentos e información relacionado con el tema en estudio, se procedió a llevar un registro ordenado de todas las referencias consultadas. En las bases

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

de datos virtuales; se encontraron cerca de tres (3) artículos científicos relacionados, de los cuales dos (2) son de carácter internacional y uno último de carácter local que sirvieron para el componente de la Evolución multitemporal de la calidad del agua del sistema de caños. Se usaron las imágenes satelitales del cuerpo de agua y toda su área aferente a través de Google Earth y cartografía del Agustín Codazzi, permitiendo localizar e identificar puntos críticos o importantes para la selección de los sitios a monitorear con sus respectivas coordenadas, además de complementar el sistema para los análisis fisicoquímicos in situ y su posterior realización de las curvas de oxigenación. Estas fuentes de información se podrían considerar con un nivel alto de confiabilidad y fueron válidos para el proyecto.

Por su parte los documentos suministrados EPA; CARDIQUE, EDURBE, FONADE, Universidad de Cartagena, Fundación Universitaria Tecnológico de Comfenalco, dado su carácter de entidades gubernamentales y académicas, se consideraron de alta confiabilidad. La información sobre medición de parámetros fisicoquímicos y biológicos que permitan establecer la calidad del agua en el Sistema de Caños y Lagunas de Cartagena es poca y está dispersa en los diferentes estudios. Esta información se utilizó para determinar los parámetros de calidad más representativos por cuerpo de agua y definir sus condiciones ambientales.

- *Recolección de información primaria.*

A partir de la información secundaria se encontró que el sistema de Caños y Lagos presentan una variación de caudales y niveles de columna de agua que se ven afectados por las condiciones geomorfológicas y climáticas de su entorno. Razón por la cual se dividió sus condiciones climáticas en tres (3) épocas del año que son: época seca que va desde el mes Diciembre hasta Mayo, época de transición que se presenta en los meses de Junio y Julio y por último la época de lluvia que va desde el mes Agosto hasta Noviembre. Las primeras se caracterizan por presentar los niveles bajos de lámina de agua, debido a que no existen grandes caudales hidrológicos pluviales propia de su cuenca que los alimente, mientras que para la época de lluvias se presenta un suministro de caudales hidrológicos importantes, así como el aumento de los niveles de agua principales tales como la Bahía de Cartagena y la Ciénaga de la Virgen, por su parte para la época de transición se da una variación entre regímenes de lluvia e intervalos de sequía.

Después de este análisis se inició los procesos para la obtención de la información primaria a través de los trabajos de campo, para lo cual se realizó inicialmente una visita a la zona de estudio realizada el día 25 de Julio de 2015 en compañía del coordinador del proyecto Javier Mouthon Bello, Yina Amell coordinadora del componente biótico y Jaime Fortich coordinador del componente de calidad de agua, como se puede apreciar en la

Figura 3, donde a partir de un recorrido realizado con una embarcación tipo Zodiac, se presenciaron los puntos de interés para los muestreos, registro fotográfico desarrollado durante el proyecto, también se definió un plan de trabajo para las futuras salidas de campo que se presenta a continuación:



Figura 3. Visita de reconocimiento a la zona de estudio realizada el día 25 de Julio de 2015.

- Monitoreo calidad de aguas (mediciones fisicoquímicas y microbiológicas).

A partir de la salida de inspección en la zona de estudio y teniendo en cuenta los términos contractuales del convenio No. 0133 de 2015, se programó en coordinación con el personal de Laboratorio de la Triple A de Barranquilla los trabajos de campo para los muestreos y ensayos de laboratorio de calidad de agua dividiéndolos en dos campañas de monitoreo: uno realizado en el 29 de Septiembre de 2013 y otro realizado el 03 de Noviembre del mismo año. Para la primera y segunda campaña se realizaron en las estaciones que se pueden apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2. Coordenadas de estaciones de muestreos.

Número	Nombre	Latitud	Longitud
1	Entrada Canal de Paralelo	10°25'36.69"N	75°30'46.66"W
2	Interconexión Canal Paralelo a Caño Juan Angola	10°26'24.77"N	75°30'49.68"W
3	Punto central Caño Juan Angola – debajo Puente Canapote	10°26'30.90"N	75°31'32.20"W

Número	Nombre	Latitud	Longitud
4	Zona nororiental de la Laguna el Cabrero	10°26'0.50"N	75°32'12.20"W
5	Punto central Laguna el Cabrero	10°25'51.78"N	75°32'26.41"W
6	Interconexión Laguna el Cabrero a Laguna Chambacú- debajo del Puente Chambacú	10°25'37.70"N	75°32'38.10"W
7	Punto central Laguna Chambacú	10°25'26.67"N	75°32'32.93"W
8	Interconexión Laguna Chambacú a Laguna San Lázaro- debajo del Puente de Heredia	10°25'21.53"N	75°32'32.76"W
9	Punto central Laguna San Lázaro	10°25'10.30"N	75°32'33.47"W
10	Interconexión Laguna San Lázaro a Bahía interna de Cartagena- debajo del Puente Román	10°25'2.33"N	75°32'39.95"W
11	Interconexión Laguna San Lázaro a Caño de Bazurto- aledaño al Puente las Palmas	10°25'11.40"N	75°32'27.50"W
12	Punto central Caño de Bazurto	10°25'4.20"N	75°32'11.80"W
13	Interconexión Caño de Bazurto a Ciénaga de las Quintas - aledaño al Puente Jiménez	10°24'53.42"N	75°31'56.06"W
14	Punto central Ciénaga de las Quintas	10°24'34.85"N	75°31'33.35"W
15	Interconexión Ciénaga de las Quintas a Bahía de Cartagena- debajo del Puente Bazurto	10°24'22.60"N	75°31'30.30"W

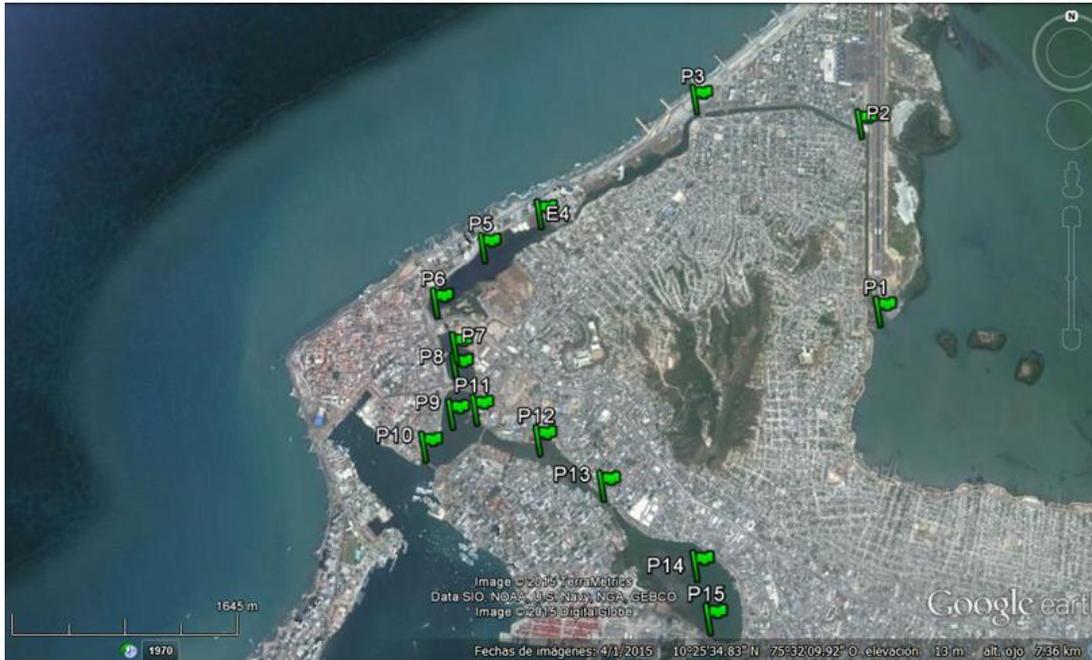


Figura 4. Ubicación de estaciones de muestreo. Fuente: Google Earth, 2015 con adaptación de los autores.

Para la primera campaña de monitoreo de calidad de agua se realizó lo siguientes componentes:

- Muestras Realizados.

Se realizaron dos muestreos durante el día: El primero en horas de la mañana entre las 06:00 y las 09:00 horas, en el cual se tomaron muestras de agua en las quince (15) estaciones pre-establecidas, y de sedimento en cuatro (4) estaciones (E1, E5, E9 y E14); el segundo muestreo se realizó en horas de la tarde entre las 15:00 y las 18:00 horas, y solo se tomaron muestras en la columna de agua.

- Variables Estudiadas.

Agua: Las variables fisicoquímicas evaluadas en la masa de agua fueron: temperatura, pH, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto, materia orgánica, sólidos suspendidos totales, DBO₅, nitratos, nitritos, amonio, NKT, fósforo disuelto, fósforo orgánico, grasas y aceites, clorofila A, cianuros totales, mercurio, plomo e Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (HAPN). Los microbiológicos evaluados fueron coliformes totales y coliformes fecales. Es importante anotar que en el muestreo realizado en horas de la tarde, no se evaluaron los HAPN.

Sedimento: Solo se tomó una muestra de sedimento en cada una de las cuatro (4) estaciones. Las variables evaluadas fueron: pH, materia orgánica, sulfuros, mercurio y plomo.

- Fase de campo.

Toma de muestra de Agua: El 29 de septiembre de 2015 se llevó a cabo toma de muestra de agua en las quince (15) estaciones antes descritas (ver Tabla 2), utilizando como medio de transporte una lancha con motor fuera de borda. Para evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, se hizo toma de muestra puntual en la superficie (0,5 m), utilizando una botella Niskin Vertical de cinco (5) litros de capacidad o un balde en aquellas estaciones que presentaban poca profundidad y no era posible hacerlo con la botella muestreadora. In situ se midió temperatura, pH, conductividad, salinidad y oxígeno disuelto. Las muestras fueron envasadas y preservadas para su traslado al laboratorio siguiendo la metodología de la APHA, AWWA, WEF en el Standard Methods For the Examination of water and Wastewater (Tabla 3). En la Figura 3 se puede observar la toma de muestra de agua.

Tabla 3. Metodología para muestreo y preservación de muestras. STANDRD METHODS.

Determinación	Recipiente ²	Vol. mín. muestra, ml	Tipo de muestra ³	Preservación ⁴	Almac. máx. recomendado ⁵	Regulación
Aceites y Grasas	V	1000	S	Adicione HCl hasta pH<2, refrigere	28 d	28 d
Amonio	P, V	500	S, C	Analizar tan rápido como sea posible o adicione H2SO4 hasta pH <2. Refrigerar	Ninguno	48 h
Cianuro Total	P,G	1000	S,C	Adicione NaOH hasta pH>12	24 h	14 d; 24h si los sulfuros están presentes
Conductividad	P,V	500	S,C	Refrigeración	28 d	28 d
Clorofila A	P,V	500	S	Sin filtrar, refrigere a °C4 en recipiente oscuro	24 – 48 h	

Determinación	Recipiente ²	Vol. mín. muestra, ml	Tipo de muestra ³	Preservación ⁴	Almac. máx. recomendado ⁵	Regulación
DBO	P, V	1000	S	Refrigerar	6h	48 h
	P, V	100	S	Analizar lo más rápido posible o adicione H ₂ SO ₄ hasta pH<2. Refrigerar	7d	28d
Fósforo	V (A)	100	S	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente. Refrigerar	48 h	N.S.
Metales	P(A), V(A)	1000	S,C	Para metal disuelto filtrar inmediatamente, adicione HNO ₃ hasta pH<2	6 meses	6 meses
Nitritos	P, V	100	S, C	Analizar tan rápido como sea posible. Refrigerar	Ninguno	48 h
Nitratos	P, V	100	S, C	Analizar tan rápido como sea posible. Refrigerar	48 h	48 h
NKT	P,V	500	S,C	Refrigere, y adicione H ₂ SO ₄ hasta pH<2	7 d	28 d
Oxígeno Disuelto	G	300	S	La titulación no puede ser demorada después de acidificación	8 h	-
Ph	P, V	50	S	Análisis inmediato	0.25 h	-
Salinidad	G	240	S	Análisis inmediato o refrigere, no congele.	28d	2-7 días.
Sólidos	P, G	200	S	Refrigerar	7 d	2-7 d

Para detalles adicionales ver el texto y los protocolos respectivos. Para las determinaciones no enumeradas, usar recipientes de vidrio o plástico; preferiblemente refrigerar durante el almacenamiento y analizar lo más pronto posible.

² P = plástico (polietileno o equivalente); V = vidrio; V(A) o P(A) = enjuagado con HNO₃ 1+1; V(S) = vidrio enjuagado con solvente orgánico o secado en mufla.

³ s = simple o puntual; c = compuesta

Determinación	Recipiente ²	Vol. mín. muestra, ml	Tipo de muestra ³	Preservación ⁴	Almac. máx. recomendado ⁵	Regulación
---------------	-------------------------	-----------------------	------------------------------	---------------------------	--------------------------------------	------------

⁴ Refrigerar = almacenar a 4°C en ausencia de luz. La preservación de la muestra debe realizarse en el momento de la toma de muestra. Para muestras compuestas, cada alícuota debe preservarse en el momento de su recolección. Cuando el uso de un muestreador automático haga imposible la preservación de cada alícuota, las muestras deben mantenerse a 4°C hasta que se complete la composición.

⁵ Las muestras deben ser analizadas lo más pronto posible después de su recolección. Los tiempos listados son los periodos máximos que pueden transcurrir antes del análisis para considerarlo válido. Las muestras pueden dejarse durante un mayor tiempo. Algunas muestras pueden no ser estables por el periodo máximo dado en la tabla.



Figura 5. Toma de muestra en columna de agua.

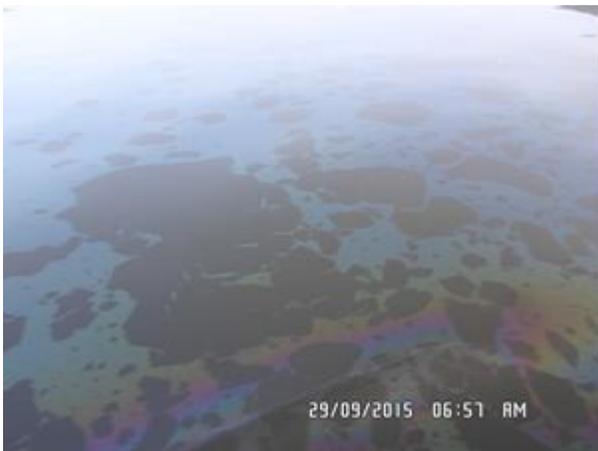
Las muestras para análisis de aceites y grasas, hidrocarburos y microbiológicos se tomaron de forma directa en el recipiente donde estas eran almacenadas.

Toma de muestra de sedimento: La toma de muestra de sedimentos se hizo con una draga tipo Ponar de acero inoxidable, desde donde se tomaba la muestra con una espátula también de acero inoxidable y se almacenaba en recipientes de vidrio boca ancha con capacidad de unos 1000 g de muestra. Las muestras eran preservadas mediante refrigeración (4 °C) para su traslado al laboratorio. En la Figura 6 se puede observar la toma de muestra de sedimento.



Figura 6. Toma de muestra de sedimento.

El día estuvo bastante soleado con temperatura ambiente que varió entre los 29 °C y los 36°C, con una cobertura de nubes de unos 3/8. En horas de la mañana la dirección del viento fue desde el Este predominantemente y en horas de la tarde desde el Oeste, con velocidades que variaron entre los 0,0 y los 4,0 m/s. A unos 50 m al noreste de la estación 14 (ubicada en la ciénaga de las Quintas), se observó en horas de la mañana una mancha de hidrocarburos, la cual había desaparecido en horas de la tarde cuando se hizo la segunda toma de muestra (Figura 7).



E14 Mañana

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	---	---

Figura 7. Mancha de hidrocarburos en horas de la mañana, en la Ciénaga de Las Quintas.



E14 Tarde

Figura 7. Mancha de hidrocarburos en horas de la tarde, en la Ciénaga de Las Quintas (Continuación).

De igual forma en la ciénaga de las Quintas se observó basura flotante en la mayoría del área de ésta, así como también en algunos sectores del caño Bazurto, la Laguna de Chambacú y el caño Juan Angola, ver Figura 8.



Ciénaga de Las Quintas

Figura 8. Presencia de residuos sólidos y basuras flotante en la mayoría de los cuerpos de agua.



Caño Bazurto



Zona norte Laguna de Chambacú



Zona sur Laguna del Cabrero

Figura 8. Presencia de residuos sólidos y basuras flotante en la mayoría de los cuerpos de agua



Caño Juan Angola

Figura 8. Presencia de residuos sólidos y basuras flotante en la mayoría de los cuerpos de agua

- Fase de laboratorio.

Una vez las muestras fueron colectadas y preservadas, se trasladaron al Laboratorio de Control de Calidad de la empresa Triple A de Barranquilla S.A. E.S.P., donde fueron procesadas. *Trazabilidad:* Una vez en el laboratorio se ingresaron las muestras a la base de datos y se codificaron para hacer la identificación y trazabilidad correspondiente, luego de lo cual se procedió al análisis siguiendo los métodos de la AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – Standard Methods for the examination of water and wastewater, (APHA, AWWA, WEF). En la Tabla 4 se presentan los métodos analíticos usados.

Por su parte para la segunda campaña de monitoreo de calidad de agua se realizó de manera similar a la primera campaña para las técnicas utilizadas en las mismas estaciones, pero en este caso solamente se analizó para columna de agua, con los siguientes parámetros: Temperatura, pH , Conductividad, salinidad, Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendidos Totales, DBO5, Materia Orgánica, Clorofila A , Fósforo Disuelto, Fósforo Orgánico, Amonio, Nitratos, Nitritos, NKT, Aceites y Grasas, Plomo, Coliformes Fecales y Coliformes Totales. Es importante anotar que para el plomo solo se realizaron ensayos en las horas de la mañana.

Tabla 4. Metodología para realización de análisis en el laboratorio

Parámetros	Método	Método Estándar
Temperatura	Electrométrico	SM 2550 B
pH	Electrométrico	SM 4500-H ⁺ B
Conductividad	Electrométrico	SM 2510 B
Salinidad	Electrométrico	SM 2520 B
Oxígeno Disuelto	Electrométrico	SM 4500-O C
Sólidos Suspendidos Totales	Gravimétrico	SM 2540 D
DBO5	Winkler, Incubación 5 días	SM 5210 B
Materia Orgánica	Volumétrico	Instructivo AAA IE-141
Clorofila A	Fotométrico	SM 10200 H
Cianuro Total	Fotométrico	Instructivo AAA IE-103
Fósforo Disuelto	Fotométrico	Equivalente SM 4500P B,E
Fósforo Orgánico	Fotométrico	Equivalente SM 4500P B,E
Amonio	Fotométrico	Instructivo AAA IE 182
Nitratos	Fotométrico	SM 4500 NO ₃ E
Nitritos	Fotométrico	SM 4500 NO ₂ B
NKT	Destilación Kjeldhal	SM 4500 N-Org C: 4500 NH ₃
Aceites y Grasas	Partición	SM 5520 B
Mercurio	EAA-Vapor Frío	SM 3112 B
Plomo	EAA-HG	SM 3030 E, 3113 B
HAPN*	CG-Masas	SM 6440C y 6410B
Coliformes Fecales	Fermentación Tubos Múltiples	SM 9121 E

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

○ Mediciones fisicoquímicas in situ y condiciones meteorológicas.

Como parte de los términos contractuales especificados en el Convenio No. 0133 de 2015 se adelantaron las dos (2) campañas de monitoreo de Mediciones de Parámetros Físico-químicos In Situ y condiciones Mediciones meteorológicas, los cuales se realizaron los días 14-15 de Octubre para la primera campaña y 03-04 de Noviembre de 2015, para la segunda, esta última coincidió con los trabajos de monitoreo de calidad de agua adelantados por el laboratorio de la triple A. En ambos casos campo por cada cuerpo de agua se registraron Temperatura, pH, Conductividad, salinidad y Oxígeno Disuelto en promedio cada 3 horas donde para la primera campaña se midieron en catorce (14) (exceptuando la estación 1 de la Tabla 2), mientras que para la segunda campaña se registraron en las quince (15) estaciones contempladas de la Tabla 2, durante veinte y seis (26) horas, para un total de nueve (9) recorridos por estación. Se implementó un formato de recolección de datos para los parámetros Físico-químicos In Situ que se puede apreciar en la Tabla 5 y un formato de toma de datos para determinar las condiciones meteorológicas como se puede apreciar en la

Tabla 6. Los equipos utilizados se describen a continuación:

- Oxímetro marca YSI No. de serie Pro 20.
- pH metro marca WTW No. de serie pH3110
- Medidor de Conductividad y Salinidad marca WTW No. de serie GOND 3110.
- Anemómetro Portatil (Velocidad y Temperatura Ambiente) marca Brannan.
- Estación meteorológica portable marca Oregon Scientific serie WMR200A.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Tabla 5. Formato de recolección de datos para los parámetros Físico-químicos In Situ.

	<p>MEDICION PARAMETROS FISICOQUIMICOS IN SITU</p> <p>PROYECTO: DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p>	 <p>IHSA INSTITUTO DE HIDRAULICA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL</p>					
INFORMACIÓN GENERAL							
Fecha (D/M/A): _____		Ubicación de la Medición: _____					
Hora de Inicio: _____	Hora de Final: _____	Propósito de la Medición: _____					
Responsable de la Medición: _____		Hoja: _____ de _____					
Supervisor: _____							
INFORMACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN							
Tipo de Instrumentación Utilizada: _____							
Equipos Utilizados: _____		Números de Serie de los Equipos: _____					
Observaciones: _____							
CARACTERÍSTICAS PARAMETROS FISICOQUIMICOS IN SITU							
PUNTO	COORDENADAS		TEMPERATURA	OXIGENO DISUELTO	pH	CONDUCTIVIDAD	SALINIDAD
	NORTE	OESTE					
Observaciones: _____							
Firma del Responsable de la Medición: _____				Firma del supervisor: _____			

Tabla 6. Formato de toma de datos para determinar las condiciones meteorológicas.

	<p align="center">MEDICION ESTACIÓN METEREOLÓGICA</p> <p align="center">PROYECTO: DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p>					
INFORMACIÓN GENERAL						
Fecha (D/M/A): _____		Ubicación de la Medición: _____				
Hora de inicio: _____ Hora de Final: _____		Propósito de la Medición: _____				
Responsable de la Medición: _____		Supervisor: _____				
		Hoja: _____ de _____				
INFORMACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDIDA						
Tipo de Instrumentación Utilizada: _____						
Equipo Utilizado: _____		Números de Serie del Equipo: _____				
Observaciones: _____						
CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DE LA MEDICIÓN						
Hora	Temperatura ()		Velocidad () y Dirección del Viento	Humedad ()	Presión Atmosférica ()	Precipitación ()
	Viento	Ambiental				
Observaciones: _____						
Firma del Responsable de la Medición: _____				Firma del supervisor: _____		



Figura 9. Equipos utilizados durante las dos (2) campañas de monitoreo de los parámetros fisicoquímicos in situ

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Para la primera campaña se realizaron los trabajos entre el día Miércoles 14 y Jueves 15 de octubre de 2015, donde se iniciaron los trabajos a partir de las 06:00 am de la mañana en una lancha de bajo calado y baja potencia con un cupo máximo de 4 personas más equipos de monitoreo (ver desde la Figura 10 hasta la Figura 14) iniciando en la Estación E15 (Ciénaga de las Quintas), continuando en sentido contrario al flujo de los cuerpos de agua interno hasta la estación E4; debido a las dificultades de acceso al resto de estaciones, producto del abundante sedimentación entre la Laguna del Cabrero y el Caño Juan Angola en el Sector , se vio la necesidad de tomar el resto de puntos desplazándonos en un carro particular con todos los equipos, ingresando directamente en cada uno de los puntos para las estaciones E3 y E2. se realizaron mediciones de las condiciones meteorológicas como velocidad del viento y temperatura ambiente, todo esto complementado con los informes meteorológicos del Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos (IDEAM) en el aeropuerto Rafael Núñez y del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), este último ubicados en la Isla de Manzanillo de la ciudad de Cartagena. A su vez para corroborar todos estos datos se ubicó una estación meteorológica portable dentro de la Bocana con coordenadas 10°27'06,29" N y 75°30'27,64" W, en donde se registró temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, humedad, presión atmosférica y precipitación en intervalos de 30 minutos.

Miércoles 14 de Octubre de 2015: Se iniciaron los trabajos a las 06:00 am con un total de cuatro (4) personas en los catorce puntos (14) de monitoreo hasta las 12 am.

Jueves 15 de Octubre de 2015: Se continuaron los trabajos desde las 12 am en las mismas estaciones hasta las 07:15 am en la Estación E4.



Figura 10. Punto de encuentro de inicio de trabajos Miércoles 14 de Octubre de 2015 a las 05:00 am en la Marina Bomba Terpel Sector Calle 30 con Carrera 14.



Figura 11. Estación de Monitoreo E15 Miércoles 14 de Octubre de 2015 a las 06:00 am Debajo del Puente de Peaje acceso a Manga.



Figura 12. Estación de Monitoreo E3 miércoles 14 de octubre de 2015 a las 11:22 am Debajo del Puente Crespo, diagonal al CAI del mismo barrio.



Figura 13. Estación de Monitoreo E11 Jueves 15 de Octubre de 2015 a las 01:35 am continuo al Puente las Palmas, barrio Manga.

Para la segunda campaña se realizaron los trabajos entre el día Martes 03 y Miércoles 04 de Noviembre de 2015, iniciando a partir de las 06:00 am de la mañana en una lancha de bajo calado y baja potencia con un cupo máximo de 4 personas más equipos de monitoreo (Ver desde Figura 15 hasta Figura 18) iniciando en la Estación E15 (Ciénaga de las Quintas), continuando en sentido contrario al flujo de los cuerpos de agua interno hasta la estación E4; debido a las dificultades de acceso al resto de estaciones, producto del abundante sedimentación entre la Laguna del Cabrero, el Caño Juan Angola y el Canal Paralelo (este último solo tuvo solamente mediciones durante 12 horas), se vio la necesidad de tomar el resto de puntos desplazándonos en un carro particular con todos los equipos hasta otra lancha ubicada en el Caño Juan Angola, para las estaciones E3, E2 y E1, durante las primeras doce (12) horas, ya que a partir de las 18 horas del martes se realizó la medición con un traje especial ingresado a los puntos E2 y E3 durante el resto de la jornada.



Figura 14. Estación Meteorológica instalada en la Bocana el día Miércoles 14 de Octubre de 2015.

Martes 03 de Noviembre de 2015: Se iniciaron los trabajos a las 06:00 am con un total de cuatro (4) personas en los quince (15) puntos de monitoreo hasta las 12 am. Exceptuando el punto E1, que solo tuvo mediciones durante doce (12) horas.

Miércoles 04 de Noviembre de 2015: Se continuaron los trabajos desde las 12 am en las mismas estaciones hasta las 09:00 am en la Estación E2.



Figura 15. Punto de encuentro de inicio de trabajos Martes 03 de Noviembre de 2015 a las 05:00 am en la Marina Bomba Terpel Sector Calle 30 con Carrera 14.



	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Figura 16. Estación de Monitoreo E15 Martes 03 de Noviembre de 2015 a las 09:36 am Debajo del Puente de Peaje acceso a Manga.



Figura 17. Estación meteorología portable miércoles 04 de noviembre de 2015 a las 01:50 am
aledaño al CAI de Manga.



Figura 18. Estación de Monitoreo E2 miércoles 04de Noviembre de 2015 a las 06:35 am.

○ Análisis de la información.

Una vez se obtuvo la información secundaria y primaria se procedió a codificarla para llevar un registro ordenado de todas las referencias e información de campo recopiladas. Este permitió sintetizar la esencia del documento y extraer la información necesaria para adelantar la investigación. En cuanto a los datos de campo, se organizaron, analizaron y computarizaron para posteriormente utilizarlos en las diferentes etapas. Siendo organizado de la siguiente manera:

○ Estado actual de la calidad del agua del sistema de caños y lagos (época de lluvia 2015).

A partir de la información de los trabajos de campo de calidad de aguas realizado por Laboratorio Triple A de Barranquilla en sus dos (2) campañas, se evaluó su condición de acuerdo a los usos establecidos en el decreto 1594 de 1984, como son uso recreativo (contacto primario y secundario), y uso para preservación de flora y fauna reflejado en sus artículos 24 y 29; sin embargo teniendo en cuenta que el decreto 3930 de 2010 deroga al Decreto 1594 del año 1984, este último en sus artículos 42, 43 y 45 aún se utiliza para las

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

concentraciones máximas admisibles de acuerdo a estos usos para los parámetros tales como pH, grasas y aceites (expresados como % de sólidos secos), coliformes totales, coliformes fecales, oxígeno disuelto, cianuro libre, plomo y mercurio.

Por otro lado en la misma ley se definen que se deben salvaguardar las condiciones que eviten problemas de procesos de eutroficación, razón por la cual se complementaron algunos parámetros con normas internacionales que validaran esta condición; para ello la empresa diseñadora y constructora de la Bocana estableció unos valores máximos admisibles para los parámetros tales como Clorofila A, DBO₅ y fósforo total basándose en normas holandesas (Haskoning, 2000, 2001, 2002. Glynn y Gary, 1996), por lo cual también se realizó su evaluación. A su vez para preservación de flora y fauna el Water Quality Criteria de la EPA de USA (2009), determinó unos rangos máximos admisibles para los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Nucleares (HAPNs) que coinciden a su vez con las Normas Peruanas (2002) para calidad de agua superficial (en vista que presenta muchas relación con las normas de la EPA de los Estados Unidos y se adapta más a las condiciones climáticas de nuestro entorno). Por último se relacionó los valores máximos admisibles con los parámetros Nitritos y Amoniaco, según el uso para preservación de vida acuática del Consejo Europeo de Normas para calidad de agua superficial (1978), que a su vez coincide con los parámetros de DBO₅ de la EPA (2009) y los nitritos de la norma Peruana (2002).

Con toda esta información de las dos (2) campañas de monitoreo, se desarrolló una tabla que permitiera una rápida evaluación a partir de unas reglas nemotécnicas que determinarían si cumplían las diferentes normas, utilizando colores que la permitieran rápidamente su evaluación, esto se puede apreciar en la

Tabla 7. Para el resto de parámetros que no estuviera reglamentados evaluados se analizaron sin ningún rango de evaluación sino analizando como su comportamiento incide en el resto de procesos o parámetros, donde se identificarán las causas de posibles alteraciones de las condiciones de calidad y su incidencia con fenómenos externos tales

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

como las condiciones climáticas, presencia de basuras o residuos sólidos, puntos de descarga fácil de detallar en los trabajos de campo, entre otros.

Tabla 7. Criterios de evaluaciones de las condiciones de calidad de agua, según normas colombianas e internacionales.

Parámetro	Unidades	Nivel de Calidad para uso Recreativo y Preservación de Flora y Fauna			REGLA NEMOTECNICA PARA EVALUACIÓN Y ANALISIS		
		USO RECREATIVO		PRESERVACIÓN DE FLORA Y FAUNA	Cumple con la Norma en Análisis	Cumple con la Norma en un rango específico	NO Cumple con la Norma en Análisis
		Contacto Primario	Contacto Secundario				
Oxígeno Disuelto	mg/L	-	-	Min. 4	Min. 4		
pH	UpH	[5 - 9]		[6,5 - 8,5]	[6,5 - 8,5]	[5 - 6,5) y (8,5 - 9]	
Clorofila A	mg/m3	Máx. 100			Máx. 100		

Parámetro	Unidades	Nivel de Calidad para uso Recreativo y Preservación de Flora y Fauna			REGLA NEMOTECNICA PARA EVALUACIÓN Y ANALISIS		
		USO RECREATIVO		PRESERVACIÓN DE FLORA Y FAUNA	Cumple con la Norma en Análisis	Cumple con la Norma en un rango específico	NO Cumple con la Norma en Análisis
		Contacto Primario	Contacto Secundario				
Aceites y Grasas	mg/L	-	-	Máx. 0,01	Máx. 0,01		
Nitrógeno Amoniacal o Amonio (NH ₄)	mg/L	Máx. 1			Máx. 1		
Nitritos (NO ₂)	mg/L	Máx. 0,03			Máx. 0,03		
DBO ₅	mg/l	Máx. 6			Máx. 6		
coliformes Totales	NMP/100 mL	Máx. 1000	Máx. 5000	-	Máx. 1000	[1000 - 5000]	
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	Máx. 200	-	-	Máx. 200		
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Nucleares (HAPN)	mg/L	Máx. 0,0003			Máx. 0,0003		
Mercurio	mg/L	-	-	Máx. 0,01	Máx. 0,01		
Plomo	mg/L	-	-	Máx. 0,01	Máx. 0,01		

Parámetro	Unidades	Nivel de Calidad para uso Recreativo y Preservación de Flora y Fauna			REGLA NEMOTECNICA PARA EVALUACIÓN Y ANALISIS		
		USO RECREATIVO		PRESERVACIÓN DE FLORA Y FAUNA	Cumple con la Norma en Análisis	Cumple con la Norma en un rango específico	NO Cumple con la Norma en Análisis
		Contacto Primario	Contacto Secundario				
Cianuro Total	mg/L	-	-	Máx. 0,05	Máx. 0,05		

Nota: Los colores de la columna de parámetros y nivel de calidad de agua para uso recreativo y preservación de flora y fauna, indican que norma se están relacionando y si a su vez esta coincide con más de una, como se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Colores utilizados para identificar las normas colombianas e internacionales que permitieron definir los criterios de evaluación de las condiciones de calidad de agua.

Según los trabajos realizados por la empresa que diseño y construyo la Bocana como Haskonning en 2000, 2001 y 2002, complementados por Glynn and Gary (1996) basados en la Normas Holandesas, para evitar Eutroficación.	Valores Admisibles según Decreto 1594 de 1984 (Para uso Recreacional y Preservación de flora y Fauna).
--	--

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

<p>Norma Peruana para calidad de agua superficial de origen Estuarino para usos de Recreación y Preservación de Flora y Fauna. (2002)</p>	<p>Normas de la EPA de US, según Water Quality Criteria (2009), para agua tipo estuarina en preservación de flora y fauna</p>
<p>N. R. E. = No se realizó ensayo para este parámetro</p>	<p>Consejo Europeo de Normas para calidad de agua superficial para Preservación de vida acuática (1978)</p>
<p><L.D. = Debajo del límite de detección de la técnica implementada</p>	
<p>Coinciden los criterios la Norma Peruana y el EPA</p>	<p>Coinciden los criterios de los estudios adelantados por Haskonning y el EPA</p>

Por su parte para el análisis de calidad de sedimentos al no encontrarse normatividad colombiana que permita su evaluación, se buscó normas de entidades internacionales como el NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (1995) y US-GS Marine and Estuarine Sediment Quality Assessment Studies - Proceedings of the U.S. Geological Survey (USGS) en el cual establecen una concentración máxima admisible que generan efectos adversos sobre los ecosistemas de tipo marino-estuarino para los parámetros de plomo y mercurio. Por lo cual se desarrolló de manera análoga a la evaluación en columna de agua una tabla que permitiera una rápida evaluación a partir de unas reglas nemotécnicas que determinaran si cumplían las diferentes normas, utilizando colores que la permitieran rápidamente su evaluación, esto se puede apreciar en la Tabla 9.

Tabla 9. Criterios de evaluaciones de las condiciones de calidad de sedimento, según normas internacionales del NOAA (1995) y US-GS (1997).

Parámetro	Unidades	Evaluación de Calidad de Sedimento según el NOAA (1995) y US-GS (1997)	REGLA NEMOTECNICA PARA EVALUACIÓN Y ANALISIS

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	---	---

		Valor máximo Admisible que generen un efecto adverso sobre los ecosistemas de tipo marino-estuarino	Cumple con la Norma en Análisis	<u>NO</u> Cumple con la Norma en Análisis
pH	UpH	-	-	-
Materia Orgánica	mg/kg	-	-	-
Sulfuros	mg/kg	-	-	-
Mercurio	mg/kg	Máx. 0,41	Máx. 0,41	
Plomo	mg/kg	Máx. 450	Máx. 450	

- Mediciones fisicoquímicos in situ y condiciones meteorológicas.

De acuerdo a las dos (2) campañas de monitoreo se realizaron por campaña las curvas de oxigenación graficando por estación los parámetros tales como la temperatura, oxígeno disuelto y Salinidad, para poder establecer los procesos de oxigenación y/o desoxigenación que se pueden estar presentando en los diferentes cuerpos de agua, analizando a su vez los caudales en el sistema de caños y lagos. Para el parámetro pH se evaluó su condición de calidad espaciotemporalmente de acuerdo a la

Tabla 7, el resto de parámetros solamente se analizó su variación sin ningún criterio de evaluación.

Una de las principales fuentes de oxígeno en cuerpos de agua es la fotosíntesis por fitoplancton. En condiciones de crecimiento acelerado de estos organismos fotosintéticos, el equilibrio del carbono también puede alterarse, por la utilización del CO_2 contenido en el agua, como fuente principal de carbono. Además, en sistemas con altas poblaciones de fitoplancton, las concentraciones de nitrógeno en forma de NH_3 , NO_2 y NO_3 , pueden ser muy bajas. La tasa de crecimiento del fitoplancton se describe usualmente como la suma de varios factores como son: crecimiento específico, respiración, asentamiento y tasa de predación. La producción de oxígeno fotosintético es una función de la concentración de algas, de la temperatura, profundidad del agua e intensidad y duración de luz. La mayor incidencia de radiación ocurre cuando el sol se encuentra en el cenit, por tal motivo, la tasa de fotosíntesis se comporta de manera sinusoidal (Figura 19). La respiración, por otro lado, se considera constante porque es independiente de la incidencia de radiación solar en el cuerpo de agua.

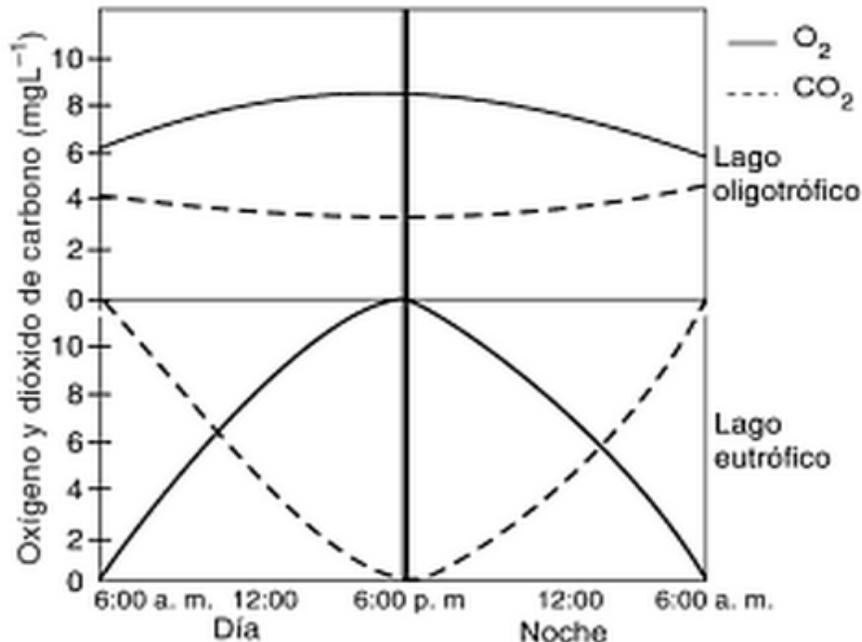


Figura 19. Variación diurna del oxígeno disuelto en un cuerpo de agua que contiene una gran población de algas. Fuente: Roldán (2003).

Por su parte los resultados de la segunda campaña de calidad de agua (para diecinueve (19) parámetros físicoquímicos y microbiológicos) que coinciden a su vez con la segunda campaña de mediciones de parámetros físicoquímicos in situ se analizaron las curvas de oxigenación respecto a estas variables en las dos (2) muestras tomadas y analizadas.

- *Evolución multitemporal de la calidad del agua del sistema de caños y lagos (Época Seca, Lluvia 1992 - 2015).*

A partir de la información secundaria recopilada de calidad de agua en los diferentes documentos, se pudo determinar que es muy dispersa y con poca replicabilidad frente a los

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

parámetros analizados y los días de su realización. Esto no permite un análisis detallado para su evaluación en línea de tiempo por cuerpo de agua, para lo cual se describen los documentos utilizados, siguiendo el análisis de las épocas climáticas de evaluación:

- Edurbe. Proyecto para el mejoramiento del sistema de caños, lagunas y ciénagas publicado en octubre 1984. Este contiene información de calidad de agua tres (3) periodos, realizados en los años 1976 (con información secundaria), 1982 y 1983 (con información primaria del estudio).

- Ensuncho L. Garcia C. y Ustáriz G. (1996). Plan de Ordenamiento Ambiental del Sistema de Caños y Lagos Internos de la ciudad de Cartagena de Indias. Tesis de Grado del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia 1996. En este documento recopilo datos de información primaria en varias estaciones del sistema de caños y lagos del año 1994.

- Ambientronca y Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (1999). Diagnóstico de la calidad de agua del distrito de Cartagena. Este documento recopilo información primaria en algunos cuerpos de agua del sistema de caños y lagos en el año 1999.

- Universidad de Cartagena y Secretaria de Planeación Distrital de Cartagena de Indias. Proyecto valoración de los niveles de riesgos en el distrito de Cartagena. Informe Final Diagnóstico Línea Base Ambiental Cartagena De Indias. Tomo II; Diagnóstico Ambiental Cartagena. Publicado en Julio de 2010. Este documento recopilo información en varias estaciones del sistema de caños y lagos desde el año 2005 al 2010 (este último año con información primaria).

- Tirado, O. Manjarrez, G. y Díaz, C. Caracterización ambiental de la Ciénaga de las Quinta localizada en Cartagena de indias, Colombia, 2009 – 2010. Fundación universitaria Tecnológico de Comfenalco. Revista U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(2): 131 - 139, 2011. Este estudio recopilo información primaria del año 2009 al 2010.

- Beltrán. A y Suarez. L, Diagnostico Ambiental de los Cuerpos internos de agua de la Ciudad de Cartagena de Indias. Cartagena: CARDIQUE, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, 2010. Este estudio recopilo información primaria del año 2010 en todo el sistema de caños y lagos.

- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis- INVEMAR”. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe. Santa Marta, 2012. Este estudio recopilo información primaria del año 2011 en algunos cuerpos de agua del sistema de caños y lagos

Con esta información secundaria y primaria obtenida, como primera medida se realizaron tres (3) graficas de los parámetros más importantes como el DBO₅, Coliformes Totales y Coliformes Fecales, por los cuerpos de agua, que tuvieran suficiente información para un análisis espaciotemporal por época climática. Adicional a ello se desarrolló un análisis estadístico (número de datos, promedio aritmético, percentil 90, desviación estándar, error

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

estándar, coeficiente de variación y valores máximo y mínimo) consistente en determinar por época climática (época seca, época de lluvia y época de transición) y por cuerpo de agua sus condiciones espaciotemporales según los registros de los años 1976, 1982, 1983, 1994, 1999, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2015 (este último con información primaria), este último se manejó en un anexo.

Por último de manera análoga a los usos de la información primaria recopilada, se desarrolló una tabla que permitiera una rápida evaluación de las condiciones de calidad de agua a partir de unas reglas nemotécnicas que determinarían si cumplían las diferentes normas, utilizando colores que la permitieran rápidamente su evaluación, (complementando algunos parámetros de la

Tabla 7), esto se puede apreciar en la Tabla 10.

Tabla 10. Criterios de evaluaciones de las condiciones de calidad de agua, según normas colombianas e internacionales para información secundaria.

Parámetro	Unidades	Nivel de Calidad para uso Recreativo y Preservación de Flora y Fauna			REGLA NEMOTECNICA PARA EVALUACIÓN Y ANALISIS		
		USO RECREATIVO		PRESERVACIÓN DE FLORA Y FAUNA	Cumple con la Norma en Análisis	Cumple con la Norma en un rango específico	NO Cumple con la Norma en Análisis
		Contacto Primario	Contacto Secundario				
Oxígeno Disuelto	mg/L	-	-	Min. 4	Min. 4		
pH in situ	UpH	[5 - 9]		[6,5 - 8,5]	[6,5 - 8,5]	[5 - 6,5) y (8,5 - 9]	
Clorofila A	mg/m3	Máx. 100			Máx. 100		
Turbiedad	UNT	[45-110]			[45-110]		
Alcalinidad	mg/L	Máx. 0,02			Máx. 0,02		
Aceites y Grasas	mg/L	-	-	Máx. 0,01	Máx. 0,01		
Amoniaco(NH ₃)	mg/L	-	-	Máx. 0,1	Máx. 0,1		
Nitrógeno Amoniacal o Amonio (NH ₄)	mg/L	Máx. 1			Máx. 1		
Nitritos (NO ₂)	mg/L	Máx. 0,03			Máx. 0,03		
Nitrógeno Total	mg/L	Máx. 0,4			Máx. 0,4		
Fósforo Total	mg/L	Máx. 0,3			Máx. 0,3		

Parámetro	Unidades	Nivel de Calidad para uso Recreativo y Preservación de Flora y Fauna			REGLA NEMOTECNICA PARA EVALUACIÓN Y ANALISIS		
		USO RECREATIVO		PRESERVACIÓN DE FLORA Y FAUNA	Cumple con la Norma en Análisis	Cumple con la Norma en un rango específico	NO Cumple con la Norma en Análisis
		Contacto Primario	Contacto Secundario				
DBO ₅	mg/l	Máx. 6			Máx. 6		
Sustancias Tensoactivas al Azul de Metileno	mg/L	Máx. 0,5	-	Máx. 0,143	Máx. 0,143	[0,143 - 0,5]	
coliformes Totales	NMP/100 mL	Máx. 1000	Máx. 5000	-	Máx. 1000	[1000 - 5000]	
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	Máx. 200	-	-	Máx. 200		
Plaguicidas Organofosforados	mg/L	-	-	Máx. 0,05	Máx. 0,05		
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Nucleares (HAPN)	mg/L	Máx. 0,0003			Máx. 0,0003		
Mercurio	mg/L	-	-	Máx. 0,01	Máx. 0,01		
Plomo	mg/L	-	-	Máx. 0,01	Máx. 0,01		
Cianuro Total	mg/L	-	-	Máx. 0,05	Máx. 0,05		

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Nota: Los colores de la columna de parámetros y nivel de calidad de agua para uso recreativo y preservación de flora y fauna, indican que norma se están relacionando y si a su vez esta coincide con más de una, de manera análoga se presenta en la Tabla 8.

5.2.1.2. Metodología para establecer las características hidráulicas e hidrológicas del sistema de caños y lagos internos.

- **Características hidráulicas**
 - **Medición de niveles de agua**

Los cuerpos de agua del sistema de caños, lagunas y ciénagas de la ciudad de Cartagena están interconectados entre sí. Los ecosistemas de estos cuerpos de agua están íntimamente ligados, por lo que entender la hidrodinámica (en términos de dirección de flujo y niveles de agua) de este sistema es de vital importancia. El nivel del agua en cada uno de los cuerpos de agua en un tiempo determinado, no solo nos permite tener una idea de la dirección del flujo, sino que también nos suministra información valiosa acerca las amenazas potenciales en términos de inundación. Actualmente, la ciudad no cuenta con un sistema de medición de nivel de agua para el sistema. Es así que se realizaron mediciones de nivel de agua (Tabla 11) mediante la instalación de reglas (miras), las cuales se ubicaron en puntos estratégicos del sistema (Tabla 12 y Figura 20) de tal manera que fuese posible entender el comportamiento de los niveles del sistema. A pesar de que se tomaron medidas para asegurar la precisión en la medición de niveles de agua con regla (nivelación de las reglas), es importante aclarar que existen errores inherentes a este tipo de metodología de medición de tipo visual. Estos errores pueden ser: (a) *instrumentales*, al trasladar los BM (Benchmark); (b) *humanos*, al utilizar el nivel; y (c) *ambientales*, posibles obstáculos e impedimentos al realizar la medición debido al constante cambio del valor, ya sea debido a causas antrópicas (navegación).y/o del movimiento natural del agua (oleaje).

La nivelación de las reglas se realizó como parte del trabajo de campo de topografía y batimetría del presente estudio. La nivelación se amarró, al igual que todo el levantamiento, al BM del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) GPS-B-D003, ubicado en predios de la Aeronáutica Civil en el barrio Chile, Manzana 38, Lote 12. En el capítulo 4 del Tomo 1 de este estudio, se discute la metodología con la que se realizaron los trabajos topográficos y batimétricos.

Tabla 11. Campañas de medición de niveles.

Campaña	Alcance	Fecha de Ejecución
1	Toma de muestras físico-químicas y microbiológicas, medición de niveles de agua del sistema de caños y lagos	29Sep2015

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

2	Toma de muestras componente biótico, medición de niveles de agua del sistema de caños y lagos	14Oct2015
	Monitoreo de parámetros fisicoquímicos in situ y condiciones meteorológicas.	14Oct2015 y 15Oct2015
3	Toma de muestras componente biótico, toma de muestras fisicoquímicas y microbiológicas, medición de parámetros fisicoquímicos in situ y medición de niveles de agua del sistema de caños y lagos	03Nov2015 y 04Nov2015

Tabla 12. Localización de las estaciones de monitoreo de niveles de agua.

Estación	Latitud	Longitud
Puente Jiménez	10°24'52,88" N	75°31'54,77" W
Puente Las Palmas	10°25'10,08" N	75°32'27,56" W
Puente Román	10°24'59,62" N	75°32'38,89" W
Espíritu del Manglar	10°25'39,76" N	75°32'39,16" W
El Cabrero	10°25'53,27" N	75°32'30,44" W
Puente Salim Bechara	10°26'3,13" N	75°32'5,32" W
La Bocana	10°27'6,48" N	75°30'27,86" W

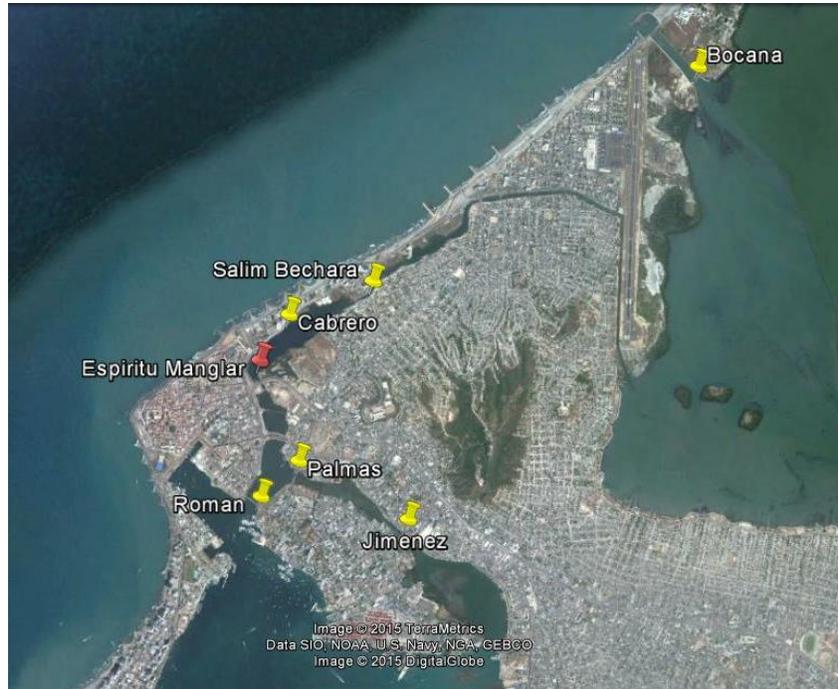


Figura 20. Ubicación de las estaciones de medición de niveles. La estación Espíritu del Manglar fue reemplazada por la del Cabrero por razones logísticas para la segunda y tercera campaña de medición. Fuente: adaptado de Google Earth.

○ Mediciones 29 de septiembre.

Las mediciones se realizaron en todas las estaciones excepto en la del Cabrero. Las mediciones iniciaron a las 06:00 horas y terminaron a las 18:00 horas. Los resultados de la medición se pueden observar en la Figura 21. Se presentaron problemas con las mediciones realizadas en La Bocana debido a que la persona del sitio contratada al dejar de ser supervisada por unas horas abandonó temporalmente el sitio (no tomó las mediciones durante el periodo 8:30 a 13:30 horas).

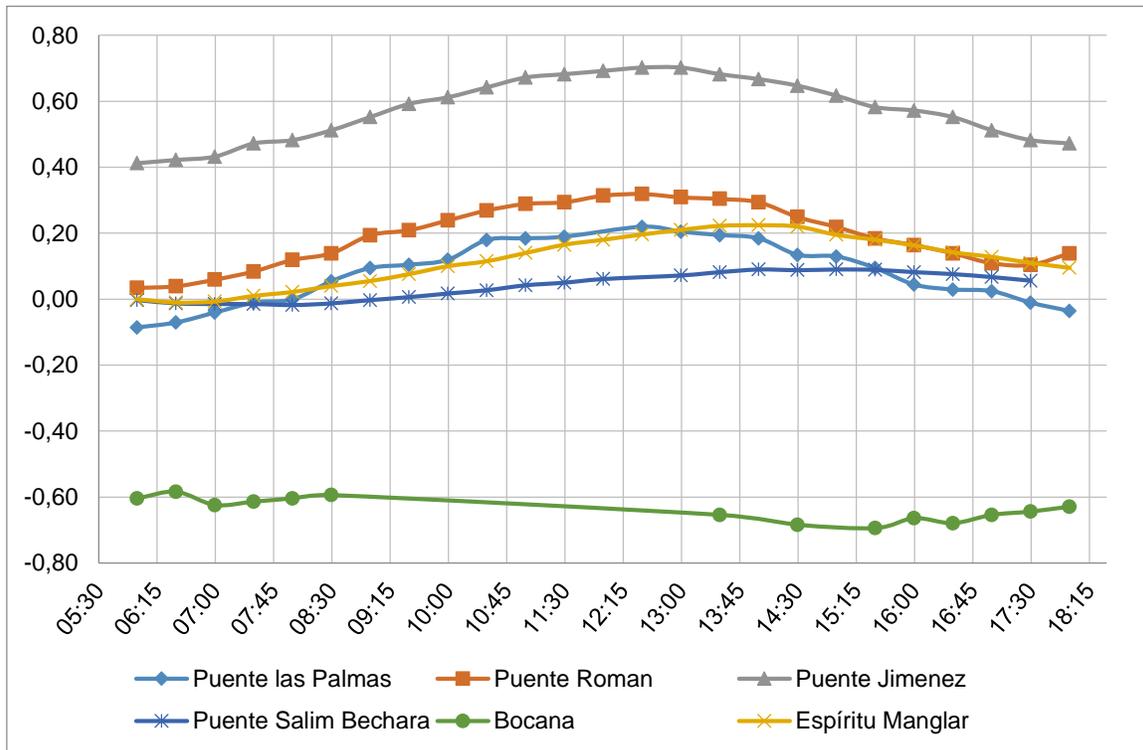


Figura 21. Variación de niveles en salida de campo 29 de septiembre

Puede observarse que los niveles en el puente Jiménez fueron mayores con respecto a las demás estaciones, indicando que hay un flujo de agua proveniente de la bahía de Cartagena hacia la ciénaga Las Quintas y la laguna San Lázaro (la bahía se conecta con estos dos cuerpos de agua). De la ciénaga Las Quintas, el flujo se mueve hacia el caño Bazarro (estación puente Jiménez), el cual, a su vez, está conectado con la laguna de San Lázaro (el agua en este cuerpo de agua proviene de la bahía de Cartagena a la altura del puente Román y del caño Bazarro –estación puente Las Palmas–. Figura 22). De la laguna de San Lázaro, pasa hacia la laguna de Chambacú (estación Espíritu del Manglar) y de ahí hacia la laguna del Cabrero. El flujo continúa hacia el caño Juan Angola (estación puente Salim Bechara) en dirección hacia la ciénaga La Virgen (estación La Bocana). Sin embargo, este flujo no genera grandes cambios en los niveles de la Ciénaga de la Virgen, debido a la gran área de este cuerpo (> 20 Km²) y a su conexión con el mar Caribe a través de La Bocana.

Alrededor de las 13:00 horas, se nota un incremento en el nivel del agua en la estación Espíritu del Manglar por encima de la estación del puente Las Palmas, lo que sugiere un cambio de flujo de las lagunas Chambacú y San Lázaro hacia el caño Bazarro. Igualmente, se nota que a alrededor de las 15:20 horas hay un pequeño incremento del nivel de la laguna del Cabrero y parte del caño Juan Angola (sector Marbella) con respecto a la

estación del puente Las Palmas (Figura 23). Igualmente, se observa cómo parte del agua de la laguna del Cabrero y caño Juan Angola (sector Marbella) también drena hacia la laguna Chambacú y esta hacia el caño Bazurto. Hay un tiempo de rezago de 2 horas aproximadamente hasta que ambos cuerpos de agua (lagunas del Cabrero y Chambacú) comiencen a drenar hacia la laguna de San Lázaro y caño de Bazurto (intersección de las gráficas de las estaciones del puente Salim Bechara y Espíritu del Manglar con la del puente Las Palmas).



Figura 22. Direcciones de flujo desde las 8:30 hasta las 13:00 del 29 de septiembre. Fuente: adaptado de Google Earth.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

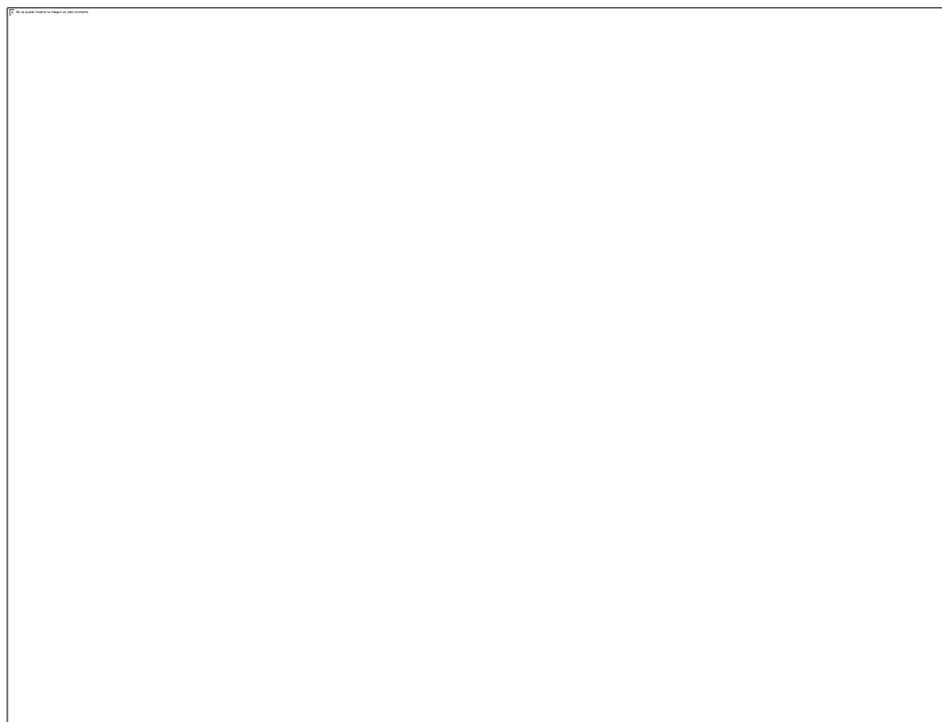


Figura 23. Direcciones de flujo a partir de las 13:00 del 29 de septiembre. Fuente: adaptado de Google Earth.

Cabe anotar que los valores observados en la laguna de San Lázaro y los puentes Las Palmas y Román son básicamente muy similares (esto puede atribuirse a los errores inherentes a la metodología anteriormente mencionados), lo cual no permite hacer una interpretación más precisa con respecto a la dirección del flujo.

El Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) pronosticó para esta fecha que los eventos de bajamar sucederían a las 5:08 horas con un valor de -0.3 m y a las 19:43 horas con -0,01 m; mientras que la pleamar sucedería a las 12:23 horas con un valor de 0,26 m. Esto se evidencia en nuestras mediciones, en las que se presentaron los valores máximos en la mayoría de las estaciones en el tiempo pronosticado para la pleamar.

- Mediciones 14 de octubre:

Consistente con las mediciones realizadas el 29 de septiembre, el flujo del agua va en dirección de la bahía de Cartagena (entrada por la ciénaga Las Quintas) hacia la ciénaga de La Virgen (los valores de la estación del puente Jiménez fueron los mayores y los de la estación La Bocana los menores). La estación del Espíritu del Manglar fue reemplazada por la ubicada en El Cabrero por razones logísticas. Las mediciones se iniciaron aproximadamente a las 06:00 horas y terminaron aproximadamente a las 22:00 horas. Los resultados de la medición se pueden observar en la Figura 24.

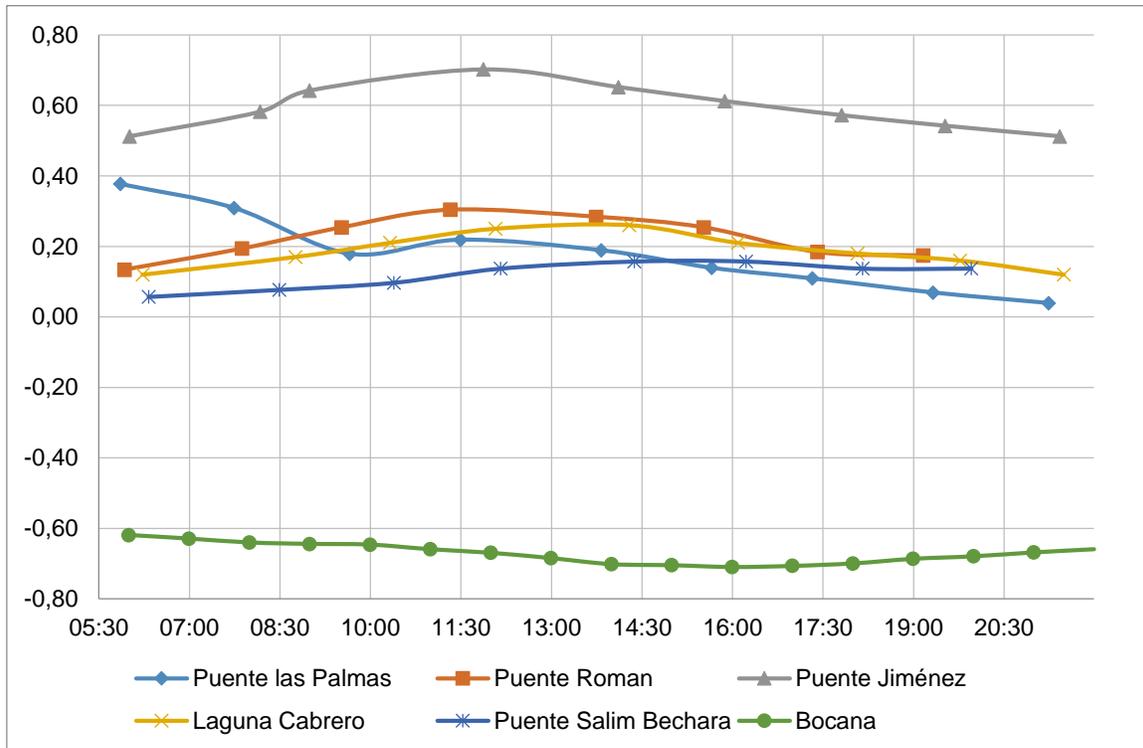


Figura 24. Variación de niveles en salida de campo 14 de octubre.

A pesar de que hay un patrón de movimiento del agua (bahía de Cartagena hacia la ciénaga de La Virgen, Figura 25), es importante aclarar que el sentido de las corrientes puede cambiar en el transcurso del día. Nuevamente, se observa cómo parte del flujo se dirige de las lagunas Chambacú y El Cabrero hacia el caño Bazurto (Figura 24 y Figura 26). En esta ocasión el tiempo de rezago entre el cambio de la dirección del flujo de las lagunas del Cabrero y Chambacú y parte del aporte del caño Juan Angola (sector Marbella) es mayor (aprox. 6 horas, comprendido entre las 10:00 y las 15:00 horas), como lo muestra la intersección de las gráficas de las estaciones del Cabrero y puente Salim Bechara con la de la estación puente Las Palmas (Figura 26).



Figura 25. Direcciones de flujo hasta las 10:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth.



Figura 26. Direcciones de flujo desde las 10:00 hasta las 15:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth.



Figura 27. Direcciones de flujo a partir de las 15:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth.

El CIOH presentó como pronóstico para ese día un evento de bajamar a las 2:42 con un valor de 0,0 m y un evento de altamar a las 11:53 horas con un valor de 0,2 m. Esto es observable en nuestras mediciones, en las que se presentaron valores máximos en la mayoría de las estaciones en las mediciones realizadas cercanas al tiempo en el que se pronosticó el altamar.

○ Mediciones 3 y 4 de noviembre.

Las mediciones se iniciaron aproximadamente a las 6:00 horas del día 3 de noviembre y terminaron aproximadamente a las 6:00 horas del día siguiente. Los resultados de la medición se pueden observar en la Figura 28.

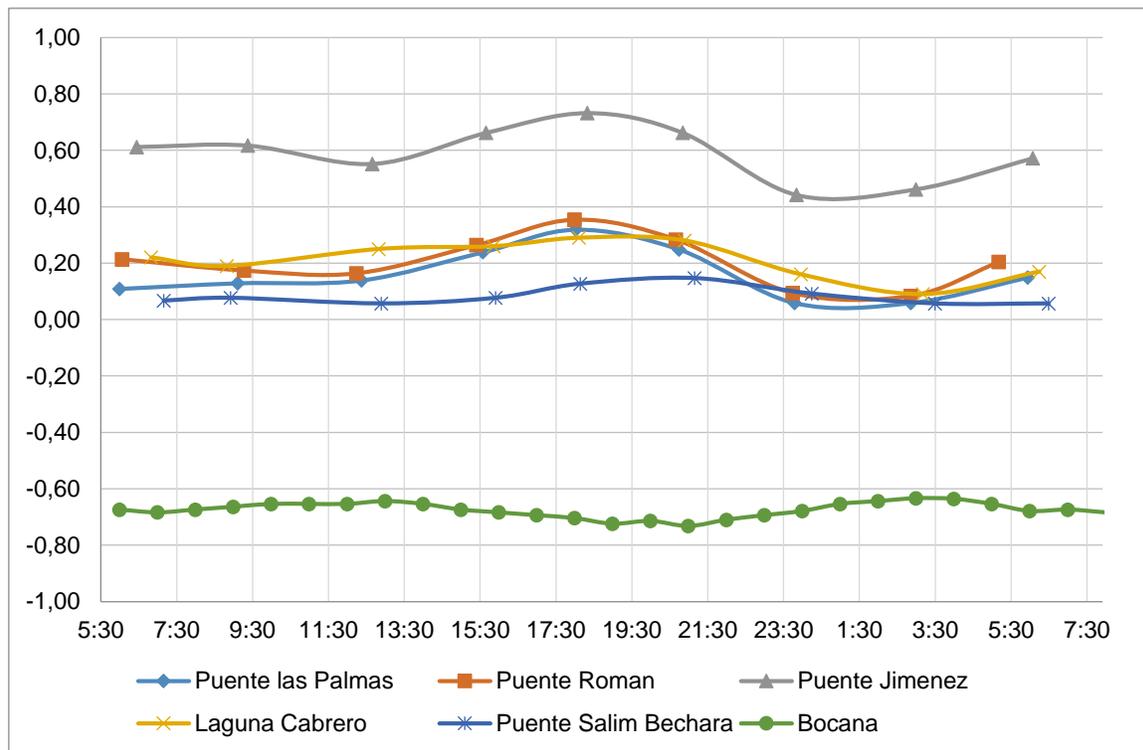


Figura 28. Variación de niveles en salida de campo 3 y 4 de noviembre.

De la gráfica podemos identificar un comportamiento parecido a las campañas de mediciones anteriores (Figura 29). Nuevamente se observan los mayores valores en el puente Jiménez indicando un flujo de agua proveniente de la ciénaga Las Quintas y la bahía de Cartagena. Igualmente, se observa que La Bocana vuelve a presentar los menores valores durante toda la jornada, indicando el movimiento del agua en dirección de la ciénaga de la Virgen proveniente de las lagunas Las Quintas, San Lázaro, Chambacú; El Cabrero y el caño Juan Angola. De la intersección de las gráficas de las estaciones El Cabrero (15:30

horas) y puente Salim Bechara (22:00 horas) con la del puente Las Palmas, se aprecia como hay un flujo de agua hacia el caño Juan Angola, primero de la laguna Chambacú y luego con aportes de la laguna del Cabrero y caño Juan Angola (sector Marbella). Más aún, se observa como parte del flujo no solo va hacia el caño Juan Angola si no también hacia el puente Román (20:30 horas hasta aproximadamente las 2:00 horas del día siguiente (Figura 28 y Figura 30) dado a que el nivel de la estación laguna del Cabrero está por encima de la del puente Román y la del puente Las Palmas.



Figura 29. Direcciones de flujo desde las 15:00 hasta las 20:30 del 3 de noviembre.



Figura 30. Direcciones de flujo desde las 20:30 del 3 de noviembre hasta las 2:00 del 4 de noviembre.

Los pronósticos del CIOH para 6 eventos de mareas entre los días 3 y 4 de noviembre se muestran en la Figura 28. Comenzando con dos eventos de bajamar de 0,06 y 0,02 m a las 7:15 y 11:00 horas, respectivamente. Se evidencia en la mayoría de las estaciones, pero se observa con mayor claridad en la estación del puente Jiménez. Luego, se presenta un evento de altamar a las 17:48 horas de 0,21 m, evidenciable en la mayoría de las estaciones. Se presentan dos eventos más: uno de bajamar de -0,11 m y otro de altamar a las 7:44 horas de 0,09 m.

- **Características hidrológicas**

- ***Cuencas Hidrográficas***

Las cuencas hidrográficas de la ciudad de Cartagena se delimitaron utilizando como referencia el Plan Maestro de Drenajes Pluviales de Cartagena (Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, 2009) debido a que se considera que no ha habido cambios significativos en la morfología de estas.

Algunas características morfométricas de las cuencas hidrográficas son:

- *Longitud del cauce principal (Lc).*

Corresponde a la mayor longitud recorrida por el drenaje principal de la cuenca.

	DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015	Revisión: 0 Fecha: Diciembre-2015
---	---	--

- Área de drenaje.

Medida de la superficie del terreno que contribuye con el aporte de escorrentía, delimitada por las divisorias topográficas.

- Perímetro de la cuenca.

Longitud de la línea envolvente del área de la cuenca.

- Longitud axial de la cuenca (L).

Distancia entre la desembocadura y el punto más alejado de la cuenca.

- Densidad de drenaje (Dd).

Indica la capacidad de una cuenca para evacuar las aguas que escurren por su superficie. Los valores típicos son: (a) *mal drenados* es de 0,5 Km² y (b) *bien drenados* 3,5 Km².

$$Dd = \frac{\text{Longitud total del drenaje}}{\text{área de la cuenca}} \quad (1)$$

- Sinuosidad (s).

La sinuosidad es la relación entre la longitud del cauce y la longitud de la recta principal, estableciendo que tan recto es el cauce principal.

$$s = \frac{\text{Longitud del cauce principal}}{\text{Longitud de la recta del cauce principal}} \quad (2)$$

- Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius (Kc).

Relación entre el perímetro de una cuenca y el área de un círculo, cuyo fin es determinar cuan circular es la cuenca (grado de redondez de la cuenca), entre más alejado a 1 este, menos circular será.

$$Kc = 0,28 \times \frac{\text{Perímetro}}{(\text{Área de la cuenca})^{0,5}} \quad (3)$$

- Pendiente media (Sm).

Es la inclinación que tiene la cuenca con respecto al horizonte además de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca.

$$Sm = \frac{\text{Cota max} - \text{Cota min}}{\text{Longitud axial (m)}} \quad (4)$$

- Ancho promedio (Ap).

Esta ecuación, ayuda a identificar cual es el ancho promedio en Km de la cuenca.

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

$$Ap = \frac{\text{Área}}{\text{Longitud del cause principal}} \quad (5)$$

○ **Tiempo de concentración (Tc)**

Se define como el tiempo que demora una gota de lluvia en recorrer desde el punto más remoto hidráulicamente hablando hasta la salida de la cuenca hidrográfica o sitio de interés de diseño. Existen varios métodos para la determinación del Tc. Para este estudio se utilizaron los métodos mostrados en la Tabla 13 y luego se calculó el promedio.

Tabla 13. Métodos para la estimación del tiempo de concentración (Tc).

Método	Ecuación de Tc (h)	Comentarios (*)
Kirpich (Tennessee) (1940)	$T_c = 0,0003245L^{0,77}S^{-0,385}$	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollada por el NRCS (antiguo SCS). • Se recomienda que para flujo superficial (overland flow) sobre superficies de asfalto o concreto multiplicar por 0,4; para canales en concreto multiplicar por 0,2; no correcciones si es suelo descapotado o flujos en canales laterales de vías. • Áreas entre 0,00404–0,45324 Km². • Pendiente entre 3 y 10%.
California Culvert Practice (1942)	$T_c = [0,871L^3\Delta H^{-1}]^{0,385}$ <i>L</i> , en esta ecuación está dado en Km.	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado inicialmente para pequeñas cuencas montañosas en California. • Está basada esencialmente en la fórmula de Kirpich.
Témez (1987)	$T_c = 0,3[LS^{-0,25}]^{0,76}$	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado inicialmente para cuencas rurales. • Apto para cuencas inferiores a 200 Km².
Velocidad	$T_c = LK^{-1}S^{-0,5}$	<ul style="list-style-type: none"> • $T_c = LV^{-1}$ (fórmula original). • <i>K</i> para Cartagena es de 4,47 (Plan Maestro de Drenajes Pluviales de Cartagena, 1981. Citado en Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, 2009). • Vel. de concentración = $K(S^{0,5})$, en m/s.

Nota: *L* = la longitud del cauce principal (m); *S* = la pendiente promedio de la cuenca (m/m); (*) Sharifi y Hosseini (2011); Vélez y Botero (2011).

Para el cálculo de los tiempos de concentración fue necesario determinar las variables de las ecuaciones basados en las características de cada una de las 15 cuencas identificadas que drenan hacia el sistema de caños, lagunas y ciénagas.

○ **Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)**

Se determinaron las curvas *IDF* utilizando registros multianuales continuos (1948-2014) de precipitación mensual máxima en 24 horas de la estación del aeropuerto Rafael Núñez y aplicando la expresión calibrada por Vargas y Díaz-Granados (1997; 1998), basada en una modificación a la ecuación de Kothyari y Garde.

$$I = a \frac{Tr^b}{t^c} M^d \quad (6)$$

En donde: *I* (mm/h) = intensidad promedio del aguacero para un período de retorno específico; *Tr* (años) = período de retorno; *t* (min) = tiempo de duración de la lluvia; *M* (mm) = promedio de los valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas (en este estudio, sin embargo, se utilizó el valor máximo de todos los valores máximos registrados para evaluar el comportamiento de las curvas *IDF* bajo circunstancias extremas). Los coeficientes *a*, *b*, *c* y *d* fueron determinados por análisis de regresión y dependen de la región (Tabla 14, Región Caribe). El período de retorno determina la probabilidad de excedencia de un evento de precipitación (Prob. de excedencia = 1/*Tr*). No debe entenderse, por ejemplo, que un evento de lluvia con un período de retorno de 100 años solamente ocurrirá una vez cada cien años. De hecho, puede realmente ocurrir una, dos, tres veces (o ninguna vez). Lo que nos dice el *Tr* es la probabilidad de que ese evento de precipitación sea igualado o excedido en un tiempo determinado. Para el caso de *Tr* = 100 años, significa que el evento de lluvia tiene un uno por ciento (Prob. de excedencia = 1/100 = 0,01) de probabilidad que ocurra en cualquier año dado.

Tabla 14. Coeficientes para cada región de Colombia.

Coeficiente	Región			
	Andina	Caribe	Pacífico	Orinoquía
a	0,94	24,85	13,92	5,53
b	0,18	0,22	0,19	0,17
c	0,66	0,5	0,58	0,63
d	0,83	0,1	0,2	0,42

Fuente: Vargas y Díaz-Granados (1997; 1998)

○ **Caudales de escorrentía**

Escorrentía es aquella porción del agua lluvia que corre sobre la superficie del suelo, ya que no alcanza a infiltrarse. Existen varios métodos/modelos para su estimación, los cuales pueden ser *globales –lumped models–* (tratan la cuenca hidrográfica como una sola unidad, como un todo), *distribuidos –distributed models–* (tienen en cuenta que las características

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

de lluvia, suelo, vegetación, entre otros, no son uniformes en la cuenca hidrográfica) y los *semi-distribuidos –semi-distributed models–*, en los cuales se trata de volver distribuidas, hasta donde el modelo lo permita, algunas de las variables de un modelo global. Los modelos para determinación de escorrentía son también llamados de “*precipitación-escorrentía*”, debido a que permiten predecir la cantidad de lluvia/precipitación que se convierte en escorrentía en una cuenca hidrográfica dada. Para este estudio se calculará a través de los métodos Racional y Número de Curva (Curve Number o simplemente *CN*, por sus siglas en inglés). Ambos métodos son de tipo global (aunque el *CN* tiene una versión semi-distribuida, la cual será explicada más tarde) y fueron desarrollados de manera empírica. Han tenido gran aceptación dentro de la comunidad de ingenieros e hidrólogos, debido a que a pesar de su simplicidad tienen en cuenta los parámetros que típicamente hacen parte del proceso precipitación–escorrentía. Para el cálculo del caudal de escorrentía de cada una de las 15 cuencas que hacen parte de este estudio, se hace necesario determinar una intensidad de lluvia para un período(s) de retorno de diseño escogido(s). Para esto, se necesitan (Figura 31):

- (a) Tiempo de concentración (T_c) para cada una de las cuencas.
- (b) Con el T_c (eje de las abscisas) de cada una de las cuencas hidrográficas, se va a las curvas *IDF* y se determinan las diferentes intensidades de lluvia (mm/h, eje de las ordenadas) para cada uno de los períodos de retorno escogidos (25, 50 y 100 años).
- (c) Área de cada una de las cuencas hidrográficas
- (d) Cálculo del coeficiente de escorrentía (C) ponderado para cada una de las cuencas hidrográficas para usar en el método Racional.
- (e) Cálculo del *CN* ponderado para cada una de las cuencas hidrográficas para usar en el método *CN* (USDA-SCS, 1985; USDA-NRSC, 1986).
- (f) Cálculo del caudal pico de escorrentía.

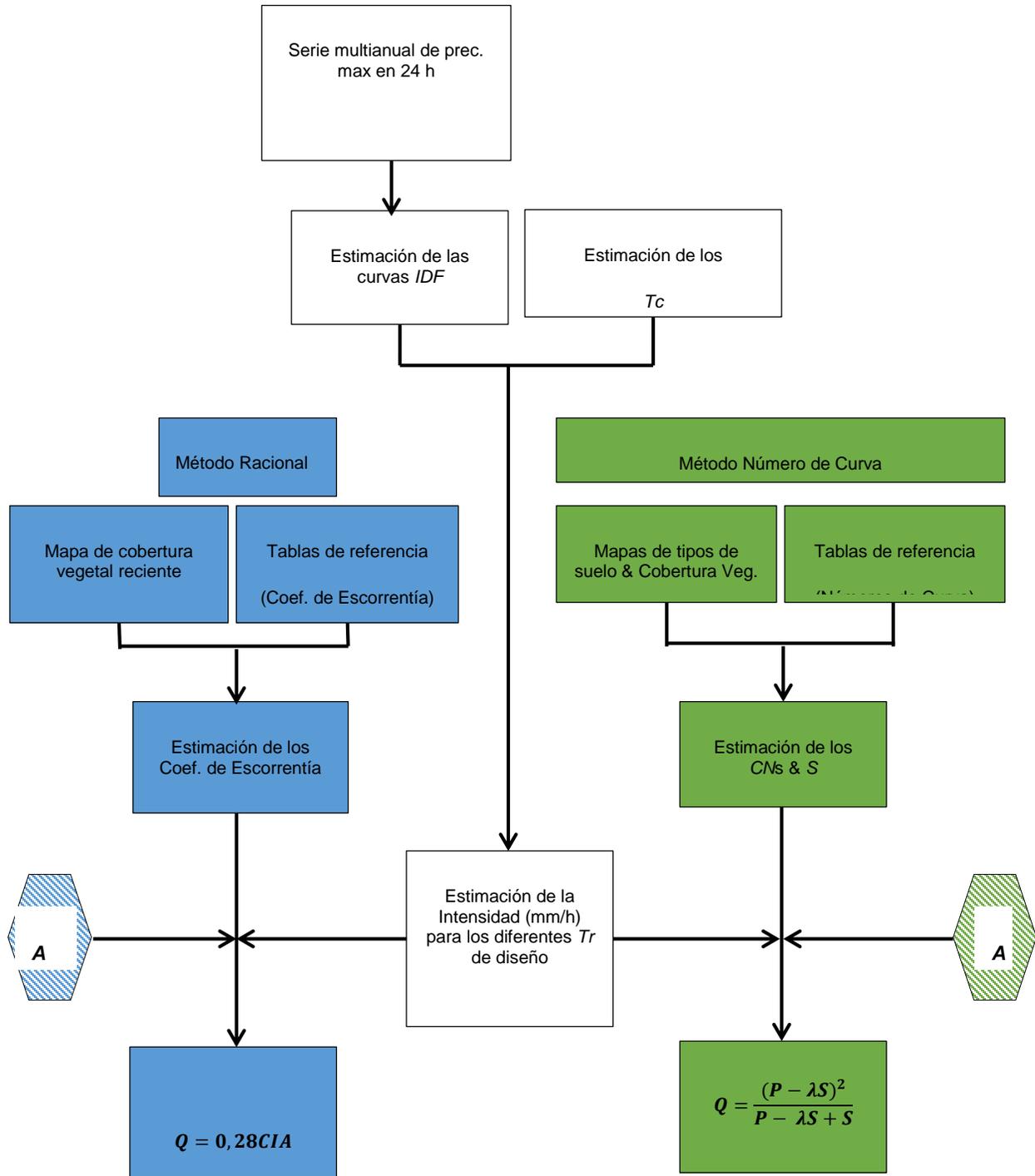


Figura 31. Flujoograma para la estimación del caudal pico de escorrentía

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

○ Método Racional

El método racional permite el cálculo del caudal pico de escorrentía que genera una intensidad de lluvia en un área dada. La idea detrás del modelo es que si una lluvia de una intensidad cualquiera comienza instantáneamente y continúa de manera indefinida, el volumen de escorrentía incrementará hasta llegar a un máximo valor que sucede en el tiempo de concentración (T_c), cuando toda la cuenca contribuye al volumen de escorrentía a la salida de la cuenca (Chow et al., 1988), es decir, el caudal de escorrentía es directamente proporcional a la intensidad de la lluvia (la lluvia está uniformemente distribuida sobre la cuenca) (Texas-DOT, 2015). Esta es la razón por la cual este método es recomendado para cuencas hidrográficas menores que $0,81 \text{ Km}^2$ (si la cuenca es mayor que este valor, se sugiere dividir la cuenca en sub-cuencas más pequeñas). Igualmente, se sugiere que cuando el T_c es menor que 10 min, se adopte un valor de 10 min para la estimación de la intensidad (mm/hr) de las curvas *IDF* (Texas-DOT, 2015). El caudal de escorrentía pico está dado por:

$$Q = 0,28(CIA) \quad (7)$$

$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$ = caudal de escorrentía pico; C (adimensional y va de 0 a 1) = coef. de escorrentía; $I \text{ (mm/h)}$ = intensidad de la lluvia del correspondiente período de retorno de diseño; $A \text{ (Km}^2)$ = área de la cuenca hidrográfica. La metodología se describe en la Figura 32.

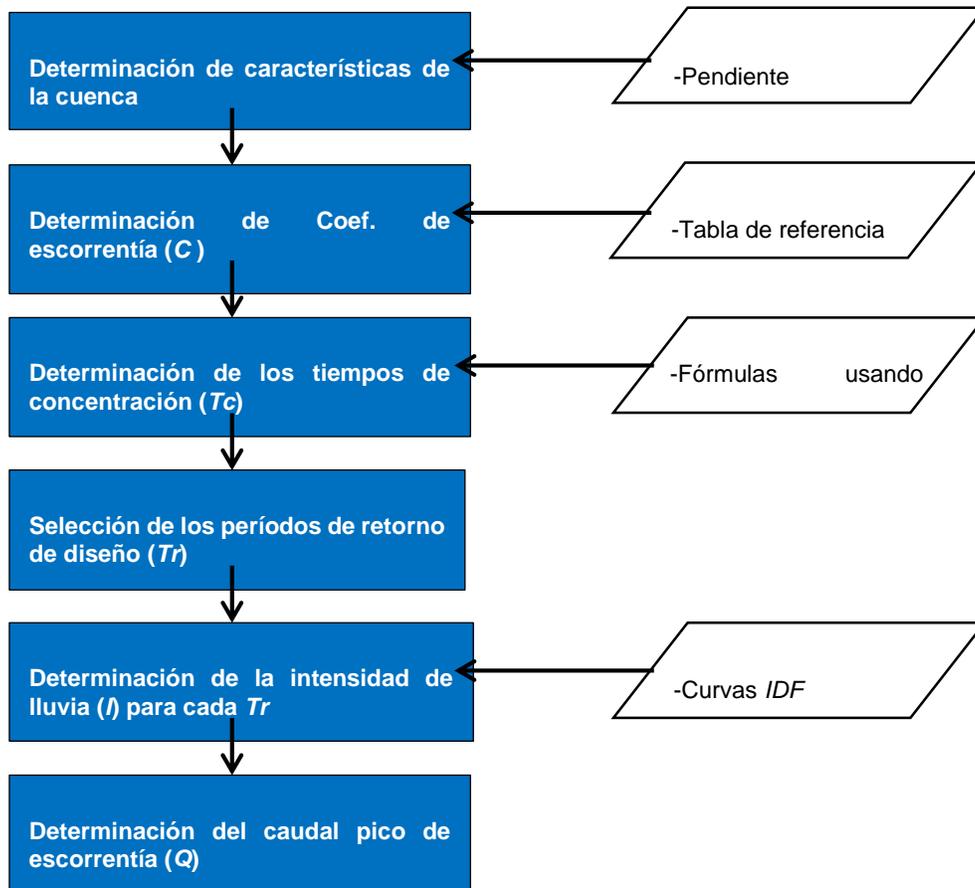


Figura 32. Flujograma metodología del método Racional

Fuente: Mussy (1998)

○ Cálculo del coeficiente de escorrentía

Para la estimación del coeficiente de escorrentía se tuvo en cuenta las áreas ocupadas por los diferentes tipos de cobertura vegetal y la pendiente promedio de cada una de las 15 cuencas identificadas para luego escoger el correspondiente C que reflejara las condiciones de las cuencas mediante la Tabla 15. Los coeficientes de escorrentías estimados no son más que promedios ponderados dados por la ecuación:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * A_i}{A_{total}} \quad (8)$$

En donde: C = coeficiente de escorrentía; $C_i = C$ para la cuenca i; A_i = área de la cuenca i; A_{total} = área de toda la cuenca.

Tabla 15. Coeficientes de escorrentía (C) para uso en el método Racional

Tipo de Superficie	Período de retorno (T_r , años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Urbanizada							
Asfáltico	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/techos	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Áreas con pastos (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre (50% del área cubierta de pastos)</i>							
Plano, (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Promedio, (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Inclinado, (>7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<i>Condición aceptable (50% a 75% del área cubierta de pastos)</i>							
Plano, (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58

Tipo de Superficie	Período de retorno (T_r , años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Inclinado, (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Condición buena (>75% del área cubierta de pastos)</i>							
Plano, (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Promedio, (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Inclinado, (>7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
No urbanizada							
<i>Tierra cultivada</i>							
Plano, (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Promedio, (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Inclinado, (>7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
<i>Pastos/Llanuras</i>							

Tipo de Superficie	Período de retorno (T_r , años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Plano, (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Inclinado, (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Arbóreas/arbustivas</i>							
Plano, (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Promedio, (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Inclinado, (>7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fuente: Adaptada de Chow et al. (1988, p. 498). Esta tabla fue originalmente desarrollada para la ciudad de Austin (Texas). Para suelos descapotados, el rango propuesto para C es de 0,2 a 0,5 (NCSU, s.f.). Se asumirá entonces valores de C iguales a 0,2; 0,35 y 0,5 para T_r de 25, 50 y 100 años, respectivamente.

Existen en la literatura muchas tablas de referencia para valores de C para períodos de retorno entre 2 y 10 años. Para esto, se recomienda usar los factores de corrección (C_f) propuestos en la Tabla 16.

Tabla 16. Factores de corrección (Cf) método Racional

Tiempo de retorno (Tr)	Factor de corrección (Cf)
Tr < 25 años	1,00
Tr = 25 años	1,10
Tr = 50 años	1,20
Tr = 100 años	1,25

Fuente: USDOT-FHWA (2009, p. 3-8)

- Cálculo de la intensidad y caudal de escorrentía pico

Con los T_c estimados para cada cuenca y con los T_r de 25, 50 y 100 años, pueden estimarse las intensidades (mm/h) de dos maneras:

- Gráficamente a través de las curvas IDF. Con el valor de T_c se entra en el eje de las abscisas y se intersecta la curvas IDF para 25, 50 y 100 años y se obtiene el valor de la intensidad proyectando sobre el eje de las ordenadas. Una manera adicional es obtener las ecuaciones de cada una de las curvas IDF y estimar la respectiva intensidad.
- Usando una tabla de intensidades. Se buscan los valores correspondientes de T_c y se buscan las celdas donde los T_r se intersectan con la duración (min). Si el valor de T_c no se encuentra entre los tabulados, hay que interpolar.

- Método del Número de Curva (Curve Number, CN)

El método CN fue desarrollado por el U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service (USDA-NRCS. Antiguamente conocido como el USDA-Soil Conservation Service, USDA-SCS). Es un modelo empírico de precipitación-escorrentía inicialmente creado para estimar el caudal de escorrentía pico en cuencas hidrográficas pequeñas de vocación agrícola. Sin embargo ha sido utilizado con éxito en cuencas de mayor tamaño (González, 2015). A diferencia del método Racional, este modelo expresa el caudal de escorrentía pico en unidades de lámina de agua (mm) que produce un evento de

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

lluvia dado. Para estimar el caudal hay que luego multiplicar por el área de la cuenca. La ecuación para el caudal está dada por (Schneider and McCuen, 2005; González, 2015):

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia)+S} \quad (9a)$$

$$Ia = \lambda S \quad (9b)$$

Con $P > Q > 0$ y $P \geq \lambda S$, de lo contrario $Q = 0$. Q (mm) = caudal de escorrentía pico; P (mm) = precipitación; Ia (mm) = pérdida inicial; λ = coeficiente de pérdida inicial (originalmente establecido como 0,2; sin embargo, un valor de 0,05 ha sido demostrado ser más adecuado González, 2015); S (mm) = retención potencial máxima.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (10)$$

Donde CN (adimensional, va de 0 a 100) = número de curva. CN es estimado a través de unas tablas de referencias (lookup tables) que pueden encontrarse en el National Engineering Handbook, Section 4, *NEH-4* (USDA, 1985) y en el Technical Release 55, *TR-55* (USDA, 1986), en donde también se describe la metodología del modelo. Su valor depende de:

- (a) Tipo de suelo. Clasificados de A a D (grupos de suelos hidrológicos), con la capacidad de infiltración que decrece de A hacia D.
- (b) Cobertura vegetal.

Los pasos a seguir son: (1) Determinación de los CNs ; (2) estimación de S ; (3) cálculo de la precipitación, P ; y (4) cálculo del caudal pico de escorrentía pico, Q .

- o Determinación de los CNs

Existen varias metodologías para la determinación de los CNs : (1) *tradicional*, usando tablas de referencia (USDA-SCS, 1985; USDA-NRSC, 1986); (2) *modificada*, usando registros de precipitación y caudal de escorrentía medidos para hallar lo que se conoce como CN *asintóticos* o CN *observados* (Hawkins, 1973) y (3) *asistida por computador*, usando los programas *HEC-HMS* y *HEC-geoHMS* (extensión compatible con ArcGIS) (USACE, 2006). En este estudio se utilizó la metodología *asistida por computador*. Sin embargo, se describirá también la *tradicional*, ya que los dos programas están basados precisamente en esta.

- Metodología CN tradicional.

(a) Determinación de los grupos hidrológicos de suelos (Hydrological Soil Groups, *HSG*) para cada uno de los tipos de suelos encontrados en las cuencas. A cada suelo se clasificó dentro de uno de los cuatro *HSGs* (A, B, C y D) basados en la descripción de la textura los mismos (los suelos) y de los *HSGs*. Para la descripción de los suelos, se utilizó el estudio

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

“Zonificación Geotécnica, Aptitud y Uso del Suelo en el Casco Urbano de Cartagena de Indias, DTC. – Bolívar” (Ingeominas, 2001). La descripción de los HSGs se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. Grupos hidrológicos de suelos (HSG) método CN.

HSG	Descripción
A	Suelo con bajo potencial de escurrimiento por su gran permeabilidad y elevada capacidad de infiltración. Incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla; también suelos permeables con grava en el perfil. Texturas gruesas (arenosa o areno-limosas). Infiltración básica (F_c) 7,63-11,43 mm/h.
B	Suelos con potencial de escurrimiento de moderado cuando están saturados. Son suelos arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. Texturas de moderadamente finas a moderadamente gruesas (franca, franco-arenosa o arenosa). Infiltración básica (F_c) 3,81-7,62 mm/h.
C	Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Escasa capacidad de infiltración cuando están saturados. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Su textura va de moderadamente fina a fina (franco-arcillosa o arcillosa). Infiltración básica (F_c) 1,27-3,80 mm/h.
D	Suelos con alto potencial de escurrimiento. Con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Muy poca capacidad de infiltración cuando están saturados. También se incluyen aquí los suelos que presentan una capa de arcilla somera y muy impermeable, así como suelos jóvenes de escaso espesor sobre una capa de roca impermeable, ciertos suelos salinos y suelos con alto nivel freático. Infiltración básica (F_c) 0,00-1,26 mm/h.

Fuente: adaptado de USDA-NRCS (1986).

(b) Una vez se tiene la clasificación de los HSGs, se utiliza la clasificación y distribución espacial (áreas) de la cobertura vegetal presente en cada una de las cuencas y, con la ayuda de las tablas de referencia, se determina el CN ponderado:

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i * A_i}{A_{total}} \quad (11)$$

(c) Se calcula S para cada una de las cuencas (ecuación 10).

(d) Se determina la precipitación de diseño (P) mediante la elaboración de hietogramas de lluvias teniendo en cuenta los tiempos de concentración hallados previamente para cada

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

una de las cuencas para los períodos de retorno 25, 50 y 100 años. La intensidad de la lluvia fue estimada con las curvas *IDF*.

(e) Se calcula el caudal pico de escorrentía para cada una de las precipitaciones estimadas en (d) vía ecuación 9a.

- Metodología CN asistida por computador

El programa de computador *HEC-HMS* está basado en la metodología del *CN* para el cálculo del caudal pico de escorrentía de diseño. *HEC-geoHMS* –extensión del programa *HEC-HMS* compatible con *ArcGIS*– permite ser más precisos en la estimación de los *CNs* y el subsecuente cálculo del caudal de escorrentía. El proceso se describe a continuación:

(a) Procesamiento del mapa de cobertura vegetal en formato compatible con *ArcGIS* (shapefile).

(b) Procesamiento del mapa de tipos de suelo (litología) en formato compatible con *ArcGIS* (shapefile) y reclasificación para asignarle un *HSGs* basado en la textura de cada suelo. El resultado es un mapa de *HSGs*. Este mapa de texturas de suelo fue comparado con el realizado por Aguilar-Collazo (2015), mostrando similitudes en la clasificación a pesar de que ambos utilizan escalas diferentes.

(c) Combinación de los mapas de cobertura vegetal y *HSGs* para obtener un mapa *CNs* (se obtiene una grilla/cuadrícula por píxeles o raster). Luego, con las áreas que ocupa cada *CN* dentro de la cuenca se obtienen los *CN* ponderados.

(d) Con los valores ponderados de *CNs* se estima *S* para cada cuenca.

(e) Se estima la lluvia de diseño utilizando los hietogramas realizados para cada cuenca con duración igual al *Tc*.

(e) Se corre el modelo *HEC-HMS* para calcular el caudal pico de escorrentía.

5.2.1.3. Metodología para determinar el estado de conservación de la flora y fauna que habita en el sistema de caños y lagos y en sus rondas hídricas.

Según lo establecido en los términos de referencia para la elaboración del “Diseño del sistema inteligente de monitoreo de calidad ambiental del distrito de Cartagena” en marco del convenio establecido entre la Universidad de Cartagena y el Establecimiento Público Ambiental (EPA), a continuación se presenta la metodología propuesta para abordar el componente biótico y dar cumplimiento al contrato de prestación de servicios N° 90-2015, el cual incluye la determinación del estado del componente biótico en el área de influencia de este proyecto, teniendo en cuenta la toma y análisis de muestras de fitoplancton, zooplancton y bentos, caracterización entomológica utilizando escarabajos coprófagos como bioindicadores, caracterización biológica de vertebrados (aves, anfibios y reptiles) y caracterización del manglar en el sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

El propósito general de este componente se enfoca en identificar el estado en el que se encuentra el componente biótico, teniendo en cuenta las características del agua y los corredores vegetales presentes, la fauna asociada a este complejo ecosistémico; además del alto impacto antrópico que se evidencia en el área.

La estructura metodológica, en su mayor parte, lleva consigo: (a) la recopilación de información secundaria, (b) la elaboración de cartografía temática y fotointerpretación para algunos casos, (c) fase de campo para la obtención de información primaria y (d) fase de oficina que conllevó el análisis y de procesamiento de la información primaria.

5.2.2. Flora

A continuación, se muestran los lineamientos metodológicos empleados en la caracterización de las coberturas de la tierra en la elaboración del presente estudio ambiental. Además, se presenta la identificación y sectorización de las diferentes unidades de cobertura vegetal del área de influencia del proyecto.

La caracterización e identificación de coberturas se inició con la recopilación de cartografía básica basada en sensores remotos, utilizando imágenes que representen el total cubrimiento del área de interés.

La metodología utilizada para realizar la identificación fue CORINE Land Cover (Coordination of Information on the Environment) adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2010). Una vez obtenido este material, se determinó el método más apropiado de acuerdo a lo indicado en la metodología general.

- **Etapas preliminares**

La primera fase metodológica corresponde al desarrollo de actividades anteriores a la etapa de campo, distribuidas en revisión documental, cartográfica y definición de tipo de inventario en caso de ser necesario (definición de unidad de muestreo, tamaño y forma de unidad de muestra). A continuación, se describen cada una de estas fases:

- **Recopilación de Información Secundaria**

Para la caracterización del componente de flora, se realizó revisión documental específica del área de estudio, soportada con la revisión bibliográfica metodológica para la caracterización de las estructuras vegetales. En la Tabla 18 se presentan las referencias documentales consultadas.

Tabla 18. Información secundaria de ecosistema de manglar

INFORMACION DE REFERENCIA			
Código o volumen	Nombre	Fuente de Información	Año de Publicación
(MI-0003) Vol. 2	Uso, manejo y conservación de fauna silvestre.	CARDIQUE	1999
(MI-0030) Vol. 15	Diagnóstico, zonificación y planificación estratégica de las áreas de manglar de Bolívar.	CARDIQUE	1997
(MI-0076) Vol. 2	Zonificación definitiva de las áreas de manglar del departamento de Bolívar para la conservación y el manejo sostenible.	CARDIQUE	2001
(CG-0379) Vol. 1	Evaluación del fitoplancton en la bahía de Cartagena durante febrero a octubre de 1992.	CARDIQUE	1992
-	Caracterización de los manglares localizados en los caños y lagunas interiores del perímetro urbano de la ciudad de Cartagena de Indias.	EPA- CARTAGENA	2006
(MI-0275)	Manglares de Bolívar - Actualización de la zonificación de manglares Bolívar, jurisdicción de Cardique.	CARDIQUE	2007
Tesis Publicada	Diagnóstico ambiental de los cuerpos internos de agua de la ciudad de Cartagena de Indias.	Publicación	2010

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- **Identificación, sectorización y descripción de los cuerpos de agua presentes en el sistema de caños y lagos del distrito de Cartagena.**

Para la caracterización de las coberturas de la tierra, se realizó inicialmente una labor de oficina, en la cual se elaboró el mapa temático preliminar de coberturas de la tierra por parte del personal de Sistemas de Información Geográficos (SIG) y el personal ambiental encargado del componente biótico. Este proceso se realizó con base en fotografías aéreas suministradas por el IGAC desde el año 1948 al 2005, y con imágenes satelitales de los sistemas convencionales. Posteriormente, se realizó una labor de campo con el objeto de verificar y validar la información obtenida, con la cual se realizó la reinterpretación o ajustes y, finalmente, se elaboró el mapa temático.

- *Identificación*

Para la identificación del área, fue necesario realizar un recorrido por el interior del sistema, donde se tuvo en cuenta principalmente el espesor de la cobertura vegetal y los cambios identificables de acuerdo a la cartografía base del componente Manglar, ya que el interés de este estudio fue el área de priorización.

- *Sectorización*

Se tuvo en cuenta los diferentes cuerpos de agua presente en el complejo: ciénaga de Las Quintas, caño Bazurto, laguna de San Lázaro, laguna de Chambacú, laguna del Cabrero y caño Juan Angola.

- *Descripción*

Para este ítem, fue necesario tener en cuenta las áreas de cobertura vegetal de manglar presente en cada uno de los cuerpos de agua y la problemática socio ambiental presente, con el fin de determinar el efecto antrópico generado sobre este ecosistema.

- **Metodología para la producción de la cartografía temática con base en fotografías aéreas.**

La obtención de la cartografía temática se realizó a partir de los principios básicos de la interpretación de imágenes satelitales: detectar, reconocer, identificar, agrupar y clasificar los objetos que cubren un espacio sobre la superficie terrestre y en la manera como se manifiestan en la imágenes, a través de los fundamentos de la fotointerpretación como son: tono, textura, patrón, forma y tamaño, los cuales son indicativos y se constituyen en clave de identificación, dependiendo del tipo de registro espectral, escala y fecha de toma de la escena.

El método empleado para la elaboración del mapa de coberturas dependió de la escala (1:100.000), definida mediante la metodología de categorización de las unidades de cobertura de la tierra realizada siguiendo la metodología CORINE Land Cover adaptada

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

para Colombia (IDEAM, 2010): (a) se determinaron las áreas útiles de las imágenes seleccionadas para realizar el reconocimiento de la zona, (b) se continuó con una lectura de las imágenes y (c) se definieron los estándares de interpretación, con los cuales se logró delimitar las coberturas vegetales. Definidos estos estándares, se elaboró la identificación de las coberturas en todas las imágenes (foto-identificación). A partir de la clasificación de las imágenes y de la leyenda preliminar, se estableció la codificación de las coberturas y se realizó el proceso de fotointerpretación.

- **Interpretación de imágenes satelitales**

SIG permite disponer de una amplia gama de datos sobre el territorio, ampliando notablemente la capacidad de análisis de los fenómenos naturales y sociales. Así mismo, facilita la interpretación rápida (y económica) del problema en estudio y el análisis integrado del paisaje.

Las actividades desarrolladas consisten en: (a) la parte preliminar para el procesamiento de la imagen, (b) el análisis multiespectral, transformaciones y (c) la interpretación de la imagen. Con ello, se obtienen patrones de identificación de coberturas, se establece la codificación de las coberturas y se culmina el proceso de interpretación, acorde con lo descrito en la metodología CORINE Land Cover.

La elaboración del mapa de cobertura vegetal para el complejo de cuerpos de agua del área de estudio se realiza mediante la clasificación visual de ortofotos (escala de captura 1:100.000) y/o fotografías aéreas (escalas de 1:7.600, 1: 16.000, 1: 88.000, 1:86.00) según las fuentes suministradas por el IGAC.

- **Elaboración del mapa de coberturas vegetales en el sistema de caños y lagos del distrito de Cartagena.**

Con la cartografía obtenida, se realiza la verificación en campo el día 14 de Octubre del año en curso. Se corroboraron los atributos descritos y los contornos de las coberturas delimitadas por medio de puntos de control georreferenciados (especialmente para el bosque de manglar), con el objetivo de elaborar la leyenda definitiva y el mapa final. En la leyenda se incluyeron áreas y porcentajes respectivos de las coberturas vegetales identificadas del área de estudio. El mapa de coberturas de la tierra, resultado de la interpretación preliminar se actualizó realizando la verificación y restitución de dichas coberturas en las salidas de campo. Adicionalmente, se hizo necesario producir el mapa en formato impreso para facilitar las anotaciones en campo y realizar la restitución de las coberturas que generaron dudas en la fase de oficina.

5.2.3. Fauna

- **Recopilación de información Secundaria**

Para la elaboración de los listados de especies de fauna con posible presencia en el área, se revisó en primera instancia la información secundaria contenida en documentos como guías de campo, artículos científicos, artículos divulgativos, publicaciones inéditas, bases de datos online, listados taxonómicos, y estudios ambientales de la zona (Tabla 18).

- **Fase de Campo**

Los muestreos fueron realizados mediante Evaluación Ecológica Rápida (EER), que permite obtener la mayor cantidad de información en un periodo de tiempo corto, mediante el uso de técnicas de muestreo estandarizadas y técnicas de detección sin captura de individuos.

- **Sitios de Muestreo**

Los días 14 de octubre y el 3 de Noviembre de año en curso, se realizaron las campañas de campo al sistema de caños y lagos del distrito de Cartagena. El muestreo coincidió con el periodo de lluvias y el cambio de fase lunar de llena a cuarto creciente (Figura 33).

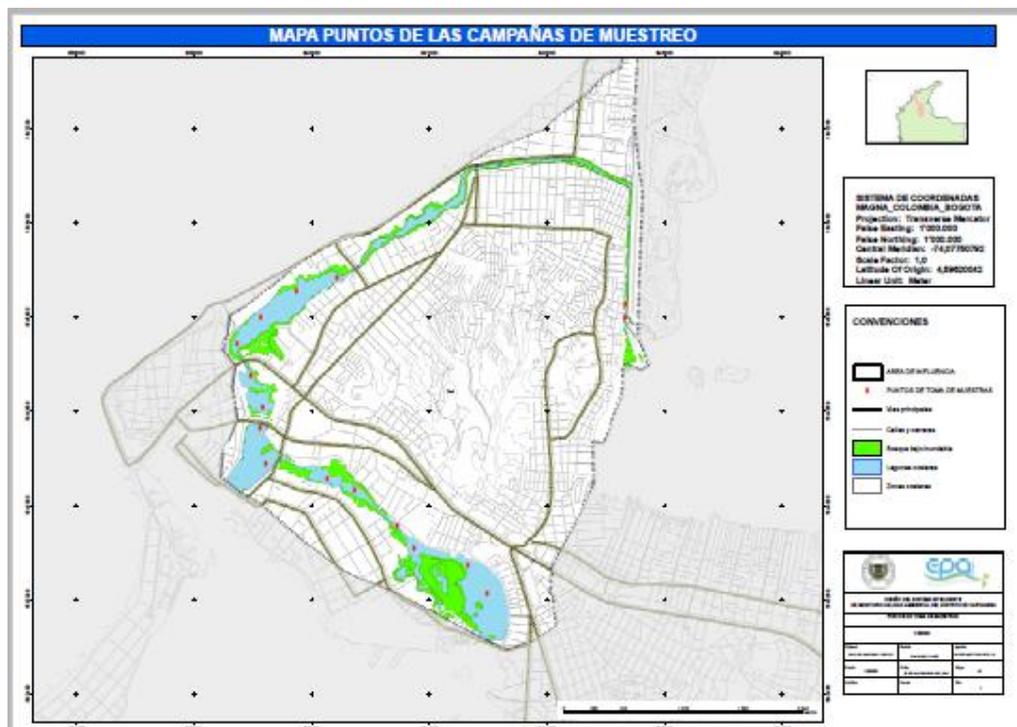


Figura 33. Fuente: Elaboración Propia

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Cada uno de los sitios donde se efectuaron los muestreos –incluyendo los recorridos y observaciones ocasionales– fueron georreferenciados con GPS Garmin® para su posterior ubicación cartográfica. A continuación se describen los métodos usados para los grupos faunísticos (anfibios, reptiles y aves):

5.2.4. Herpetofauna (Anfibios y Reptiles)

Para el registro de las especies de anfibios y reptiles presentes en el área de estudio, se implementó el método de búsqueda Visual Encounter Surveys (VES, por sus siglas en inglés) y remoción. Este método consiste en recorrer un área o hábitat determinado (durante un tiempo establecido) intentando abarcar los picos de mayor actividad conocidos para las especies de interés: 8:00 am a 12:00 m y 6:00 pm hasta las 10:00 pm.

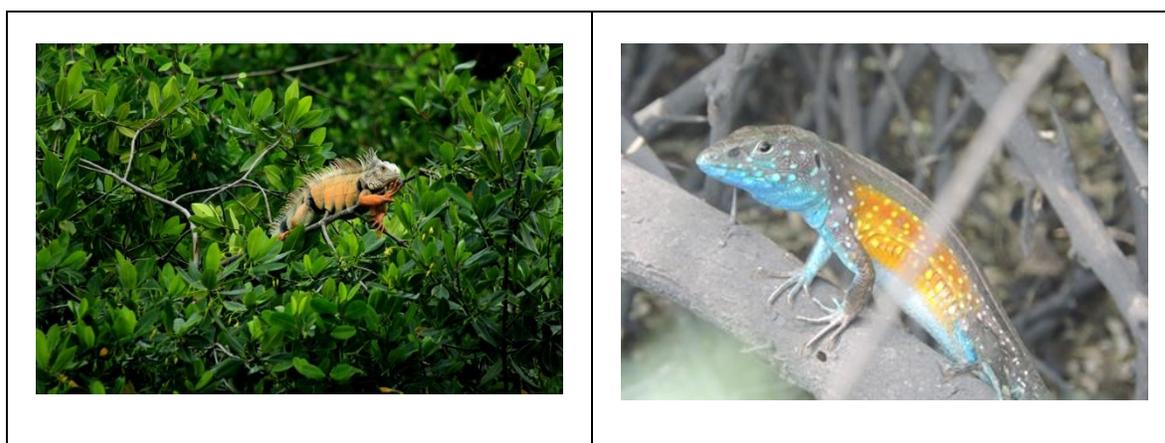


Figura 34. Especies de reptiles avistadas en el área de influencia del proyecto.

- **Georreferenciación de las zonas donde se realizaron los transectos**

Los sitios de observación y registro de individuos fueron georreferenciados, seleccionados al azar y repartidos a lo largo del área. En la Figura 34, se registran dos especies avistadas en los recorridos realizados en estas zonas.

	DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015	Revisión: 0 Fecha: Diciembre-2015

	DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015		CODIGO: EPA-UDC-CYL-001						
			Fecha de emision: Revisión xxx Pagina 1 de 1						
FORMATO DE CAMPO									
REGISTRO DE AVISTAMIENTO DE HERPETOFAUNA									
PROYECTO:		PROFESIONAL:							
DEPARTAMENTO	MUNICIPIO:	NOMBRE DEL CUERPO DE AGUA							
FECHA DE MUESTRO	EPOCA CLIMATICA:	COORDENADA:							
HORA DE MUESTRO:	ALTITUD:								
#	NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	CANTIDAD DE INDIVIDUOS	TIPO DE OBSERVACIÓN			COBERTURA	DESCRIPCION DE ENTORNO/OBSERVACIONES	FOTOGRAFIA ASOCIADA
				DIRECTA	RASTRO	CAPTURA			
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
Rastro: Madrigueras, Osamenta (esqueletos), Capazones, Huella, Pieles, Posturas Cobertura: Bosque de Manglar, Bosque de galeria, pastos limpios, pastos arbolados, zonas urbanas, cuerpos de agua, herbazal, arbustal, tierras desnudas y degradadas, Red vial, Vegetación Secundaria									

Figura 36. Formato para toma de datos de herpetofauna.

5.2.5. Avifauna

La avifauna se detectó en campo mediante las metodologías propuestas por el Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental GEMA del IAvH (Villarreal et al., 2006). Se realizaron reconocimientos auditivos y visuales, utilizando binoculares (10 x 42 mm), realizando recorridos durante las horas de mayor actividad de las aves, a velocidad constante a lo largo de senderos en los hábitats presentes en las estaciones de estudio. Además, observaciones no estandarizadas en sectores aledaños a las estaciones de muestreo, carreteras y áreas urbanas, con el objetivo de complementar el inventario de la avifauna.

Para cada registro, se consignó información correspondiente a la fecha, hora, localidad, ecosistema, número de individuos, especie y nombre común. Adicionalmente, cuando las condiciones eran óptimas se realizaron fotografías de los ejemplares en todos los transectos.

 	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---



Figura 37. Registro de avistamiento de aves, en interacción con el ecosistema del Manglar entre la ciénaga de Las Quintas y caño Bazaruto.

 	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>		<p>CODIGO: EPA-UDC-CYL-001</p>					
			<p>Fecha de emision:</p> <p>Revisión xxx</p> <p>Página 1 de 1</p>					
<p>FORMATO DE CAMPO</p> <p>REGISTRO DE AVISTAMIENTO DE AVES</p>								
PROYECTO:		PROFESIONAL:						
DEPARTAMENTO	MUNICIPIO:	NOMBRE DEL CUERPO DE AGUA						
FECHA DE MUESTRO	EPOCA CLIMATICA:	COORDENADA:						
HORA DE MUESTREO:	ALTITUD:							
#	NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	CANTIDAD DE INDIVIDUOS	TIPO DE OBSERVACIÓN		COBERTURA	DESCRIPCION DE ENTORNO/OBSERVACIONES	FOTOGRAFIA ASOCIADA
				DIRECTA	RASTRO			
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
<p>Rastro: Nidos, Huevos, Plumas, Heces</p> <p>Cobertura: Bosque de Manglar, pastos limpios, pastos arbolados, zonas urbanas, cuerpos de agua, herbazal, arbustal, tierras desnudas y degradadas, Red vial, vegetación Secundaria</p>								

Figura 38. Formato para toma de muestras de aves.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- **Fase de Oficina**

- *Nomenclatura taxonómica*

Para Corroborar y actualizar la clasificación taxonómica de la herpetofauna se tuvo en cuenta las bases de datos online como *Reptile Database* (www.reptile-database.org), *Amphibian Species of the World* (Frost, 2011. <http://research.amnh.org/cgi-bin/herpetology/amphibia>) y *Amphibia Web Database* (amphibiaweb.org) y Zaher et al (2009). Las aves fueron identificadas siguiendo las guías de campo de Hilty y Brown (1986), Sibley (2000) y McMullan et al. (2010). Se siguió la taxonomía planteada por Remsen et al. (2014).

5.2.5.1. Fitoplancton

- **Análisis Cualitativo**

Las muestras de fitoplancton fueron tomadas en cada estación por medio de redes con longitudes de 2.2 m, diámetro de boca de apertura de 60 cm y ojo de malla de 20 μ m.

Se realizaron arrastres horizontales durante 3 minutos en una longitud de 100 metros; luego se depositaban las muestras en un balde de 5L y con la ayuda de un embudo los organismos atrapados en el copo colector de las redes eran pasados a recipientes de plástico de 500 ml para adicionarles formalina al 5% como preservante. Las muestras se almacenaron en un lugar fresco, mientras fueron llevadas al laboratorio para su posterior observación e identificación. Los organismos se identificaron al nivel taxonómico más bajo posible utilizando guías taxonómicas de Boyer, 1927; Round, 1990; Tomas, 1996 y Wood, 1963 (Figura 39).

- **Análisis Cuantitativo**

Para el análisis cuantitativo de las muestras, se utilizó una botella oceanográfica Niskin de 6 L, la cual fue bajada a una profundidad estándar. La profundidad se determinó de acuerdo a la profundidad de cada estación. Este contenido fue vertido en unas botellas de 5 L, donde se dejó sedimentar por 24 h. Luego, la muestra fue concentrada por sifoneo y trasvasada a botellas de 500 ml para su cuantificación.

Concentración de la Muestra: Antes de continuar con el recuento de la muestra, se dejó sedimentar por 72 h en una probeta de 500 ml. Una vez se sedimentó se extrajo el sobrenadante por el método de sifoneo utilizando bomba de extracción hasta dejar la muestra en los 50 ml.

Recuento: De la fracción de la muestra reservada para el análisis cuantitativo, se procedió al recuento de la muestra en una cámara de conteo Sedgwick-Rafter de 2 ml, donde se contaron campos aleatorios hasta 300 células del taxón más abundante (Ramírez, 2000).

5.2.5.2. Zooplancton

Las muestras de zooplancton fueron extraídas en cada estación por medio de redes con longitudes de 2.2 m, diámetro de boca de apertura de 60 cm, ojo de malla 200 μ m.

La red fue puesta a nivel de superficie, para ser arrastrada horizontalmente durante 3 minutos en una longitud de 100 metros (Figura 39). Los organismos atrapados en el copo colector de las redes, se pasaron a recipientes de plástico de 500 ml con la ayuda de un balde de 5L y un embudo. Posteriormente se les adiciono formalina al 5% como preservantes. Las muestras se almacenaron en un lugar fresco mientras fueron llevadas al laboratorio para su posterior observación e identificación.

Para la identificación y conteo de los organismos se dividió la muestra hasta obtener como mínimo 1000 organismos (Sell y Evans, 1982; De Oliveira-Díaz *et al.*, 2010). Estos se separaron inicialmente a grupos morfológicos sin diferenciar alguna categoría taxonómica, luego con la ayuda de un estereoscopio microscópico, se identificó y contabilizó hasta el nivel de taxón de “familia” como la categoría mínima común para todos, siguiendo las características morfológicas para cada uno de ellos (Boxshall y Halsey, 2004; Boltovskoy, 1981).



Figura 39. Toma de muestras de las comunidades planctónicas utilizando red y realizando arrastre para el sistema de caños internos.

5.2.5.3. Bentos

Los organismos se colectaron con una Draga Van Been, el proceso se realizó desde una embarcación pequeña, desde donde se extrajo la muestra para cada estación (Figura 40). Luego de la extracción, las muestras fueron almacenadas en bolsas Ziploc y rotuladas de acuerdo al sitio de muestreo, para su posterior separación en el laboratorio (Figura 39).



En el laboratorio, las muestras biológicas fueron cernidas a través de un juego de tamices para la separación de los organismos macrozoobénticos (Gray et al., 1992; Holme y McIntyre, 1984). La separación de estos organismos, se realizó teniendo como referencia los taxa superiores, separadas manualmente sobre bandejas plásticas con ayuda de rosa de bengala. Posteriormente se identificaron hasta el nivel taxonómico posible.

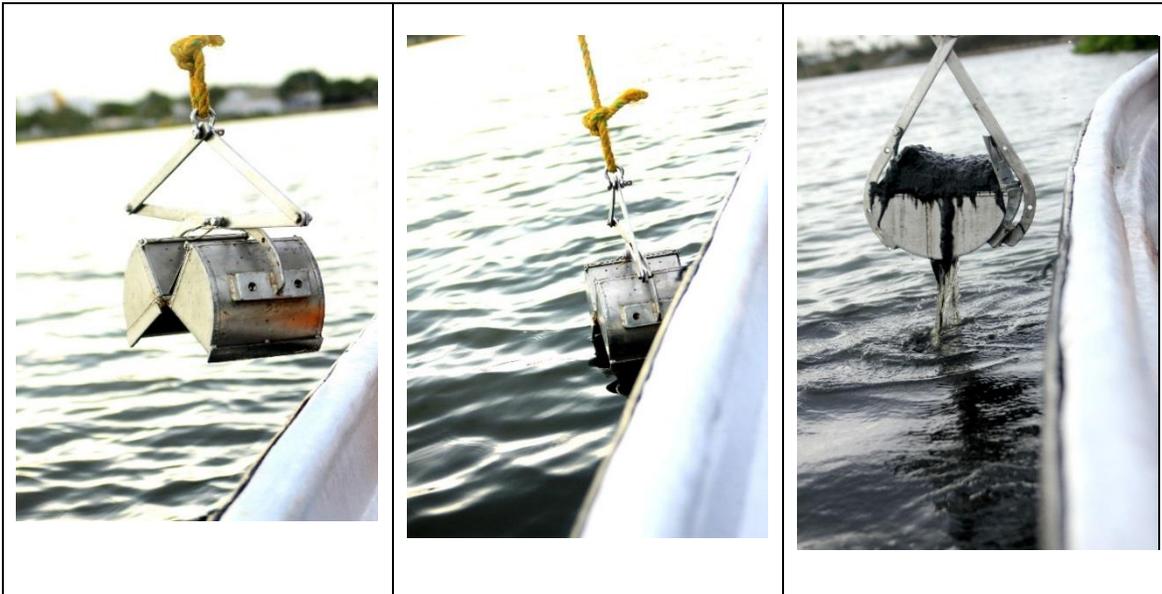




Figura 40. Toma de muestras con la Draga Van Been de las comunidades bentónicas en los sistemas de caños y lagos del distrito de Cartagena.



Figura 41. Toma y empacado de la muestra de bentos en bolsas Ziploc.

5.2.5.4. Escarabajos

Para la recolecta de los escarabajos se utilizó la metodología propuesta por Noriega & Fagua (2009). Es decir, se utilizaron trampas de caída, que consisten en un vaso plástico con capacidad de 500 ml y diámetro de 10 cm, enterrado a ras del suelo, fijada con 300 ml de alcohol al 70% (Villareal *et al.* 2004). Esta trampa fue modificada para la época de lluvias, con el objetivo de evitar que el agua llenara los vasos y se perdieran los individuos recolectados. Se enterró un alambre en el suelo a lado y lado de la entrada del vaso para sostener el cebo, el cual estaba cubierto con un pedazo de gaza y sostenido por un pequeño alambre que luego sería fijado en el arco que anteriormente se había puesto, con el fin de

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

evitar que otros individuos se lo llevaran (Noriega & Fagua 2009). Posteriormente se colocó un techo, fabricado a partir de un plato plástico al que se le sujetaban 3 trozos de alambre con el propósito de simular un trípode para evitar que el agua inundara los recipientes plásticos (Figura 42).



Figura 42. Trampa “Pitfall” modificada, elaboración propia.

El muestreo coincidió con la época de lluvias fuertes comprendida entre los meses de Septiembre y Noviembre de 2015, es importante aclarar este punto puesto que es posible que la comunidad de escarabajos aumente su diversidad taxonómica en esta época, teniendo en cuenta que aumentan los recursos alimenticios para los mamíferos presentes en su nicho y con ello también aumenta la disponibilidad de la materia orgánica. Indicando la actividad trófica y el estado de conservación del ecosistema que en este caso puede ser de manglar o herbáceo abierto.

Para la colecta de los ejemplares, se ubicaron dos transectos lineales de 50 m. Cada transecto contenía 5 trampas de caída con excremento humano (16,86 gr), obteniendo 10 trampas para la estación de muestreo, instaladas cada 50 m. Los muestreos se realizaron en horas del día y se dejaron expuestos por 24 horas (Larsen & Forsyth 2005, Noriega & Fagua 2009).

- **Preservación y Determinación Taxonómica.**

Los individuos colectados se conservaron en recipientes de plástico con alcohol etílico al 70%, rotulados de acuerdo al lugar de muestreo, coordenadas, altitud, fecha de captura, colector (es), técnica de captura, número del transecto (T1, T2) y número de la muestra (M1-M20) (Villareal *et al.* 2004). Posterior a la fase de recolecta en campo, el material fue separado en el Instituto de Hidráulica y Saneamiento Básico de la Universidad de Cartagena Sede Piedra Bolívar (Figura 43).



Figura 43. Insectos almacenados en recipientes plásticos para su posterior identificación.

5.2.6. Análisis de los resultados

5.2.6.1. Aves, Reptiles y Anfibios

- **Esfuerzo de muestreo**

La intensidad y eficiencia de los muestreos efectuados con las diferentes técnicas de campo pueden ser evaluadas a partir del esfuerzo y éxito respectivamente, considerándose a éste último como un índice de abundancia relativa:

Para los recorridos de observación a lo largo de transectos, el esfuerzo de muestreo (E) se calculó multiplicando el tiempo de duración del recorrido, por el número de personas que lo efectuaron. Así, el resultado se expresa en horas-hombre: $E = \text{tiempo (horas)} \times \text{número de personas}$. Donde, el éxito de muestreo (E_m) corresponde al número de avistamientos obtenidos / esfuerzo (E).

Para determinar el estatus de residencia y migración de las aves se siguió a Naranjo y Amaya (2009), al igual que información en las guías de aves del país.

Para cada especie se determinó su estado de amenaza e interés para la conservación, basados en distintas fuentes de información: (a) listas rojas nacionales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2014) e internacionales (Bird Life International 2013), (b) categoría de endemismo y (c) apéndices de la convención sobre el comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres CITES.

Para las categorías de endemismo se siguió a Chaparro-Herrera et al. 2013, quien clasifica a las aves en cuatro principales grupos:

Especie Endémica de Colombia (E): distribución restringida a los límites geográficos del país.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Espece Casi-endémica de Colombia (CE): especie cuya distribución geográfica en Colombia es al menos el 50% de su distribución total conocida, aunque comparta el restante 50% con uno o más países vecinos.

Espece de Interés para Colombia (EI): especie que tiene entre el 40-49% de su área de distribución en Colombia.

Espece con Información Insuficiente (II): especies cuya distribución en Colombia es poco conocida, incluso para especies que tienen rangos de distribución restringida (igual o menos a 50.000 km²).

Por su parte en los apéndices CITES se listan aquellas especies que presentan algún riesgo a la disminución de poblaciones por su comercio indiscriminado y se dividen en las siguientes categorías:

Apéndice I: Incluye las especies de sobre las que pesa un mayor peligro de extinción. Están amenazadas de extinción y la CITES prohíbe generalmente el comercio internacional de especímenes de estas especies.

Apéndice II: Incluye especies que no están necesariamente amenazadas de extinción, pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio.

Apéndice III: Incluye las especies incluidas a solicitud de una Parte que ya reglamenta el comercio de dicha especie y necesita la cooperación de otros países para evitar la explotación insostenible o ilegal de las mismas.

Adicionalmente se colectó información en campo sobre la ecología de las especies, y se complementó con información secundaria, también aspectos como uso de hábitat, estrato de forrajeo y gremio alimentario.

En las semanas siguientes a las actividades de campo, se inició realizando la verificación de la información contenida en los formatos, organización de fotos, revisión de coberturas, digitalización de formatos y revisión de estadísticos descriptivos. Posteriormente, se elaboraron las matrices con los datos de abundancia de las especies encontradas. Además, se corroboraron las especies con la fauna potencial, se analizaron las relaciones de las especies encontradas con las condiciones de la zona y las coberturas, así como la legislación referente a las especies sensibles.

5.2.6.2. Fitoplancton

La cuantificación de los individuos se obtuvo mediante la fórmula propuesta por Sournia 1978, donde la densidad fitoplancton se expresó en Individuos (Células) por unidad de volumen (Litros).

$$\text{Célula/L} = n * V_2 / V_3 * 1 / V_1$$

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Dónde:

n = Número de células del enésimo taxón contado en la cámara

V1 = Volumen de la muestra (L)

V2 = Volumen muestra concentrada (mL)

V3 = Volumen submuestra (mL)

La información obtenida de la identificación y contabilización de los organismos se tabuló en una matriz de abundancia, siendo estandarizada a individuos por litro. A partir de la información registrada en la matriz de abundancia, se obtuvo índices de diversidad de Shannon (H), índice de dominancia (D), índice de igualdad (J) y riqueza de Margalef para cada estación.

Los datos fueron estandarizados a partir de la transformación Z, definida por la siguiente ecuación

$$Z = \left(\frac{(x - \bar{X})}{std(x)} \right)$$

Donde x representa cada una de las variables, \bar{X} es la media y $std(x)$ es la desviación estándar de la variable.

La transformación Z corresponde a la distancia estadística de un grupo de datos con respecto al valor medio de la variable, expresado en unidades de desviación estándar. Por esta razón, los valores de Z=0 indican que el dato tiene el mismo valor del promedio ($x = \bar{X}$) y valores de Z=1 indican que el dato está a una SD del promedio (los valores positivos indican que están por encima del promedio, y los valores negativos indican que están debajo del promedio). Como es adimensional resulta útil para la comparación de variables fisicoquímicas y biológicas.

La caracterización de las zonas de muestreo se realizó a través de un Análisis de Componentes Principales, a partir de una matriz de correlación. Debido a que los datos se encuentran en una escala nominal (inferior a la escala de intervalo), los datos no poseen Gaussianidad. Por tal razón, se procedió a realizar una prueba de Wicolxon para muestras independientes con la corrección de Kruskal-Wallis para una X^2 a un nivel de significancia del 5% con el fin de observar diferencias entre las estaciones.

5.2.6.3. Zooplancton

La información obtenida de la identificación y contabilización de los organismos se tabuló en una matriz de abundancia entre órdenes de los organismos, siendo estandarizada a individuos por litro. Con esta matriz se procedió a determinar tendencias de asociaciones de las estaciones utilizando los análisis descriptivos multivariados no paramétricos de

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Clasificación Cuantitativa (CLUSTER), basados en una matriz triangular de similitud (Índice de Bray-Curtis).

Adicionalmente, se compararon estadísticamente los índices ecológicos de riqueza (S), abundancia (N), uniformidad de Pielou (J), Dominancia (D), diversidad de Shannon (H').

5.2.6.4. Bentos

Los muestreos del componente bentónico, fueron realizados con una draga Van Been en cinco puntos a lo largo del complejo lagunar. Las muestras fueron fijadas con Rosa de Bengala para teñir los tejidos vivos que estuvieran presentes en ella.

Posteriormente los datos fueron tabulados y comparados con los análisis fisicoquímicos realizados para el sedimento.

5.2.6.5. Escarabajos

Con el objeto de evaluar la efectividad de los muestreos realizados, se tenía previsto calcular curvas de acumulación de especies para el grupo de los coprófagos (Coleóptera: Scarabaeidae) e índices de diversidad alfa. Sin embargo, esto no fue posible puesto que este grupo no tiene influencia dentro de este ecosistema, debido al estado de degradación en el que se encuentra.

- **Estructura del ensamblaje de escarabajos coprófagos**

Para este caso, en la metodología se había previsto determinar la composición de especies del ensamblaje de escarabajos coprófagos en el sistema de caños y lagos del distrito de Cartagena, Colombia, a partir de la elaboración de una matriz de abundancia con los datos obtenidos.

La abundancia de cada una de las especies de escarabajos sería estimada utilizando los individuos recolectados en las trampas de caída, ubicadas en cada estación de muestreo; es decir, sumando el número de individuos/especie recolectados en las trampas. En cada estación, se evaluaría la diversidad alfa utilizando el número total de especies (S), la riqueza de Margalef (D_{Mf}), el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), el índice de Pielou (J') y la serie de números de Hill (N1) y (N2).

El índice de diversidad de Margalef (D_{Mf}), presupone una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos del sitio. Mientras que la serie de números de Hill (N1) y (N2) es una medida del número de especies cuando cada especie es ponderada por su abundancia relativa. Así mismo, se pretendía calcular el índice de Pielou que mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Por último, el índice de Shannon-Wiener (H') expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra (Moreno 2001) y cuenta con la ventaja de ser independiente respecto al tamaño de la misma (Hair 1987). Cada uno de

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

estos índices serían calculados utilizando las rutinas del programa computacional PRIMER 6.0 (Clarke & Gorley 2006).

Sin embargo, la presencia de estas especies en el medio natural depende del estado de conservación en que estos se encuentren. Actualmente, en el sistema de caños y lagos del distrito de Cartagena no se ve representado con este tipo de indicadores de calidad ambiental. Y por ende no fue posible calcular estos índices de diversidad.

5.2.7. Metodología para la Identificación y descripción de los componentes biofísicos y socioeconómicos que se encuentran en el área de influencia del sistema de caños y lagos internos.

5.2.7.1. Componentes Biofísicos que se encuentran en el área de influencia del sistema de caños y lagos internos.

La descripción de los elementos biofísicos y socioeconómicos que hacen parte del área de influencia del proyecto fueron descritos con base en información secundaria obtenida en las diferentes entidades gubernamentales y no gubernamentales que tienen injerencia en la zona de estudio.

Con relación a la evaluación paisajística llevada a cabo se presenta seguidamente la metodología aplicada.

- **Delimitación de tramos de estudio y ubicación de puntos de inspección**

La delimitación de los tramos para la evaluación del paisaje del sistema de caños y lagos internos de la ciudad, se hizo con base al criterio de fondo escénico, el cual consiste en evaluar el entorno de un determinado lugar en términos de su apariencia, contraste y armonía. Para el sistema de caños y lagos internos de la ciudad se demarcaron nueve tramos los cuales se muestran en la Figura 44, posteriormente se describe cada tramo junto a la ubicación de los puntos de inspección del paisaje.

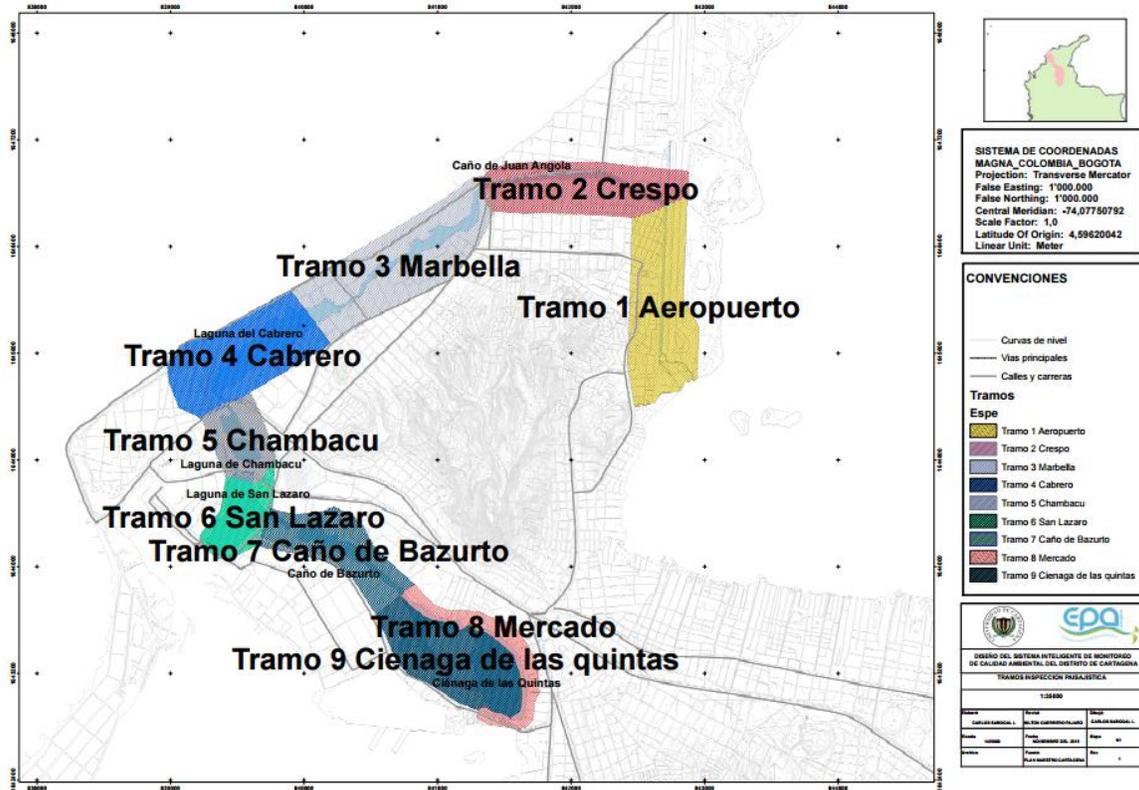


Figura 44 Delimitación de tramos para evaluación paisajística

- **Tramo 1. Aeropuerto**

Comprende la descripción desde la desembocadura del caño Juan Angola hacia la ciénaga de la virgen (inicio de la vía Perimetral) hasta la curva o cruce del mismo canal (barrio Siete de Agosto, calle 75), conocido éste tramo como canal paralelo.

Las coordenadas de los puntos visitados del tramo se muestran en la Tabla 19.

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Tabla 19. Ubicación de puntos de inspección

Punto	Ubicación de puntos de inspección	Coordenadas geográficas	
		N	W
1	Enfrente de la calle Estrella Mayor.	10°26'10.4"	75°31'03.3"
	Barrio San Francisco	10°26'10.7"	75°31'03.1"
2	Sobre puente de madera provisional para trabajos de construcción de muro y malla de cerramiento entre la pista del aeropuerto y canal paralelo	10°26'18.4"	75°31'02.5"
	Barrio Siete de Agosto (curva del canal Juan Angola- Ref. Kiosko)	10°26'35.7"	75°31'02.2"

Fuente: Los autores

- **Tramo 2. Crespo**

Comprende la descripción desde la curva o cruce del canal Juan Angola hasta el puente Romero Aguirre (Crespo), Calles 60 y 61.

Las coordenadas de los puntos visitados del tramo se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Ubicación de puntos de inspección

Punto	Ubicación de puntos de inspección	Coordenadas geográficas	
		N	W
1	Barrio Siete de Agosto (Cra. 13)	10°26'38.0"	75°31'06.3"
2	Barrio Santa María (Cra. 13), frente a la Calle San Pedro/Puente que va hacia el canal	10°26'40.9"	75°31'12.7"
3	Puente peatonal Santa María	10°26'43.2"	75°31'18.7"
4	Crespito. Frente a la Calle 68	10°26'42.4"	75°31'27.0"
5	Crespito. Frente a la Calle 67	10°26'42.3"	75°31'29.4"
6	Crespito. Frente a la Calle 65	10°26'41.7"	75°31'34.2"
7	Crespito. Frente a la Calle 66	10°26'41.6"	75°31'31.7"
8	Puente peatonal Canapote (a la altura de Crespito)	10°26'41.6"	75°31'37.9"
9	Contiguo al puente peatonal Canapote (vertimiento de aguas pluviales)	10°26'42.5"	75°31'38.6"
10	Debajo del puente Romero Aguirre	10°26'40.4"	75°31'43.6"
11	Arriba del puente Romero Aguirre (sentido de Canapote a Crespito)	10°26'41.0"	75°31'43.8"
12	Arriba del puente Romero Aguirre (sentido de Canapote a Crespito)	10°26'41.0"	75°31'44.6"
13	Frente a la fundación Actuar	10°26'34.8"	75°31'46.6"
14	Frente a la fundación Niños de papel Barrio Canapote	10°26'31.0"	75°31'49.0"
15	Puente Marbella	10°26'13.7"	75°32'17.2"
16	Canal de desagüe (aguas negras). V1	10°26'31.0"	75°31'1.0"
17	Canal de desagüe (aguas negras). V2	10°26'30.0"	75°30'60.0"
18	Canal de aguas pluviales paralelo a parqueadero de buses OAT y casas residenciales. V3	10°26'28.9"	75°30'51.3"
19	Canal de aguas pluviales provenientes de la vía pública. V4	10°26'28.4"	75°30'53.4"
20	Canal de aguas pluviales provenientes de la vía pública. V5	10°26'29.6"	75°30'55.8"
21	Canal de aguas pluviales provenientes de la vía pública. V6	10°26'31.0"	75°30'58.3"
22	Canal de aguas pluviales provenientes de la vía pública. V7	10°26'32.9"	75°31'1.2"
23	Canal de aguas pluviales provenientes de la vía pública (avenida principal). V8	10°26'34.4"	75°31'5.5"
24	Canal de aguas pluviales provenientes de la vía pública. V9	10°26'32.4"	75°31'0.3"
25	Canal de aguas pluviales provenientes de la vía pública (avenida principal). V10	10°26'34.0"	75°31'12.0"
26	Canal de aguas pluviales provenientes de la vía pública (avenida principal). V11	10°26'33.7"	75°31'18.6"

Fuente: Los autores

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- **Tramo 3. Marbella**

Comprende la descripción desde el puente Romero Aguirre (Crespo) hasta la Calle 43 del sector Papayal.

Las coordenadas de los puntos visitados del tramo se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Ubicación de puntos de inspección

Punto	Ubicación de puntos de inspección	Coordenadas geográficas	
		N	W
1	Puente Marbella	10°26'13.7"	75°32'17.2"
2	Calle 43. Sector Papayal	10°26'09.3"	75°32'24.7"
3	Canal de descarga pluvial. V12	10°26'30.7"	75° 31'32.7"
4	Canal de desagüe pluvial. V13	10°26'20.3"	75° 31'39.2"
5	Canal de desagüe pluvial proveniente de los barrios. V14	10°26'20.3"	75° 31'39.2"
6	Canal de desagüe pluvial. V15	10°26'19.4"	75° 31'41.3"
7	Canal de desagüe pluvial. V16	10°26'24.0"	75°31'35.0"
8	Canal de desagüe pluvial. V17	10°26'18.09"	75°31'42.8"
9	Canal de desagüe pluvial. V18	10°26'17.0"	75°31'44.0"
10	Canal de desagüe pluvial. V19	10°26'16.0"	75°31'44.0"
11	Canal de desagüe pluvial. V20	10°26'14.0"	75°31'49.0"
12	Canal de desagüe pluvial. V21	10°26'12.0"	75°31'52.0"
13	Canal de desagüe pluvial, conocido como caño Laurina. V22	10°26'12.1"	75°31'54.5"
14	Calle canal de desagüe pluvial. V23	10°26'11.0"	75°31'55.8"
15	Calle canal de desagüe pluvial. V24	10°26'9.2"	75°31'58.2"
16	Calle canal de desagüe pluvial. V25	10°26'7.0"	75°32'1.0"
17	Calle canal de desagüe pluvial. V26	10°26'6.2"	75°32'2.7"

Fuente: Los autores

- **Tramo 4. Cabrero**

Comprende la descripción desde la Calle 43 del sector Papayal hasta el puente de Chambacú (sobre la avenida Pedro de Heredia).

Las coordenadas de los puntos visitados del tramo se muestran en la Tabla 22.

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Tabla 22. Ubicación de puntos de inspección

Punto	Ubicación de puntos de inspección	Coordenadas geográficas	
		N	W
1	Calle 43. Sector Papayal	10°26'09.3"	75°32'24.7"
2	Calle 42. Sector Papayal	10°26'07.1"	75°32'27.8"
3	Calle 41. Sector Papayal	10°26'02.9"	75°32'32.4"
4	Calle 40. Sector Papayal	10°25'47.7"	75°32'50.3"
5	Desagüe aguas pluviales provenientes de la vía pública. V27	10°26'04.0"	75°32'10"
6	Calle canal de desagüe pluvial. V28	10°25'57.7"	75°32'4.5"
7	Descarga de aguas pluviales y residuales. V29	10°25'55.7"	75°31'17.4"
8	Canal conocido como de "La Salle". V30	10°25'39.7"	75°32'17.1"
9	Desagüe pluvial de la carretera que drena hacia el canal. V31	10°25'39.1"	75°32'17.6"
10	Desagüe de aguas pluviales provenientes de la vía pública. V32	10°26'5.6"	75°32'14.7"
11	Desagüe de aguas pluviales provenientes de la vía pública. V33	10°26'01"	75°32'22.0"
12	Desagüe aguas pluviales proveniente del barrio y de la carretera. V34	10°26'00"	75°32'24.0"
13	Desagüe aguas pluviales proveniente del barrio El Cabrero. V35	10°25'57.0"	75°32'29.0"
14	Desagüe de aguas pluviales proveniente de la vía. V36	10°25'56.0"	75°32'29"
15	Desagüe de aguas pluviales proveniente del barrio. V37	10°25'53.0"	75°32'31.0"
16	Desagüe de aguas pluviales proveniente de la vía. V38	10°25'48.0"	75°32'38.0"

Fuente: Los autores

- **Tramo 5. Chambacú**

Comprende la descripción desde el puente de Chambacú (sobre la avenida Pedro de Heredia) hasta el puente Heredia ubicado en la Calle 30.

Las coordenadas de los puntos visitados del tramo se muestran en la Tabla 23.

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Tabla 23. Ubicación de puntos de inspección

Punto	Ubicación de puntos de inspección	Coordenadas geográficas	
		N	W
1	La Matuna. Puerto Duro	10°25'42.2"	75°32'51.9"
2	Sobre el puente Heredia	10°25'32.6"	75°32'46.0"

Fuente: Los autores

- **Tramo 6. San Lázaro**

Comprende la descripción desde el puente Heredia hasta el puente Román (Calle 25) pasando por el puente Las Palmas (Carrera 17).

Las coordenadas de los puntos visitados del tramo se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24. Ubicación de puntos de inspección

Punto	Ubicación de puntos de inspección	Coordenadas geográficas	
		N	W
1	Sobre el puente Heredia	10°25'32.4"	75°32'45.1"
2	Bomba Terpel. Marina	10°25'26.8"	75°32'42.7"
3	Frente a urbanización Villavenecia	10°25'17.3"	75°32'42.4"
4	Puente peatonal donde desemboca la 4ta avenida del Barrio de Manga	10°25'16.2"	75°32'42.7"
5	Desagüe del CDA Cartagena. V39	10°25'17.8"	75°32'31.3"
6	Canal pluvial del barrio hacia el canal de desagüe de la carretera. V40	10°25'15.8"	75°32'30.1"
7	Desagüe de la carretera. V41	10°25'15.4"	75°32'30.0"
8	Desagüe de la carretera. V42	10°25'15.1"	75°32'29.7"
9	Desagüe de la carretera. V43	10°25'14.6"	75°32'29.6"
10	Desagüe pluvial de los barrios aledaños. V44	10°25'14.5"	75°32'29.4"
11	Desagüe de la carretera. V45	10°25'14.3"	75°32'29.4"
12	Desagüe de la carretera. V46	10°25'13.8"	75°32'29.4"
13	Desagüe pluvial de barrios aledaños a la laguna. V47	10°25'13.3"	75°32'29.2"
14	Desagüe pluvial de barrios aledaños. V48	10°25'12.3"	75°32'28.4"
15	Desagüe de la carretera. V49	10°25'12.4"	75°32'28.1"
16	Desagüe de la carretera. V50	10°25'6.0"	75°32'30.2"

Fuente: Los autores

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- **Tramo 7. Caño de Bazurto**

Comprende la descripción desde el puente las Palmas (Carrera 17) hasta el puente Jiménez (Carrera 22) que atraviesa por la Avenida del Lago.

Las coordenadas de los puntos visitados del tramo se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Ubicación de puntos de inspección

Punto	Ubicación de puntos de inspección	Coordenadas geográficas	
		N	W
1	Sobre el puente Las Palmas	10°25'20.8"	75°32'39.2"
2	Entre la construcción de la biblioteca y el inicio del paseo peatonal	10°25'21.4"	75°32'25.9"
3	Sobre el puente Jiménez	10°25'04.1"	75°32'07.9"
4	Canal de desagüe de los barrios del sector. V51	10°25'10.9"	75°32'13.9"
5	Canal de desagüe de la vía. V52	10°25'11.2"	75°32'11.4"
6	Canal de desagüe de la vía atraviesa uno de los parques contiguos a la Ciénega. V53	10°25'9.8"	75°32'10.0"
7	Canal de desagüe de la vía atraviesa uno de los senderos peatonales contiguos a la ciénaga. V54	10°25'8.4"	75°32'9.1"

Fuente: Los autores

- **Tramo 8. Mercado**

Comprende la descripción desde el puente Jiménez (Carrera 22) hasta el puente Bazurto (Avenida Campo Alegre), bordeando toda la orilla de la ciénaga de las Quintas y abarcando el Mercado que lleva el mismo nombre.

Las coordenadas de los puntos visitados del tramo se muestran en la Tabla 26.

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Tabla 26. Ubicación de puntos de inspección

Punto	Ubicación de puntos de inspección	Coordenadas geográficas	
		N	W
1	Frente a el Barrio Chino	10°24'45.0"	75°31'44.4"
2	Frente a el Mercado de Bazurto	10°24'40.4"	75°31'30.3"
3	Frente a el Barrio Martinez Martelo	10°24'29.2"	75°31'24.8"

- **Tramo 9. Ciénaga de las Quintas**

Comprende la descripción del área interna de la ciénaga de las Quintas.

Las coordenadas de los puntos visitados del tramo se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27. Ubicación de puntos de inspección

Punto	Ubicación de puntos de inspección	Coordenadas geográficas	
		N	W
1	En el centro de la Ciénaga de las Quintas	10°24'31.7"	75°31'31.2"
2	Frente a Vivienda ubicada dentro de la Ciénaga de las Quintas	10°24'35.8"	75°31'48.1"
3	En el borde den manglar interno	10°24'36.6"	75°31'37.5"

A continuación, se presenta de manera general los puntos de inspección (Ver Figura 45, Figura 46 y Figura 47)

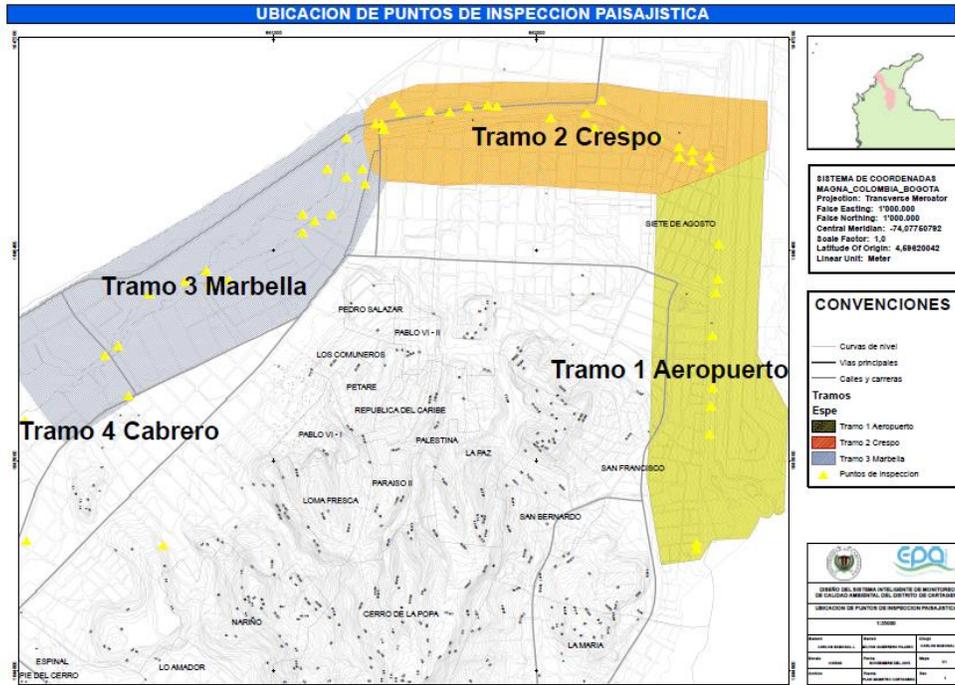


Figura 45 Ubicación de puntos de inspección paisajística. Tramos 1, 2 y 3

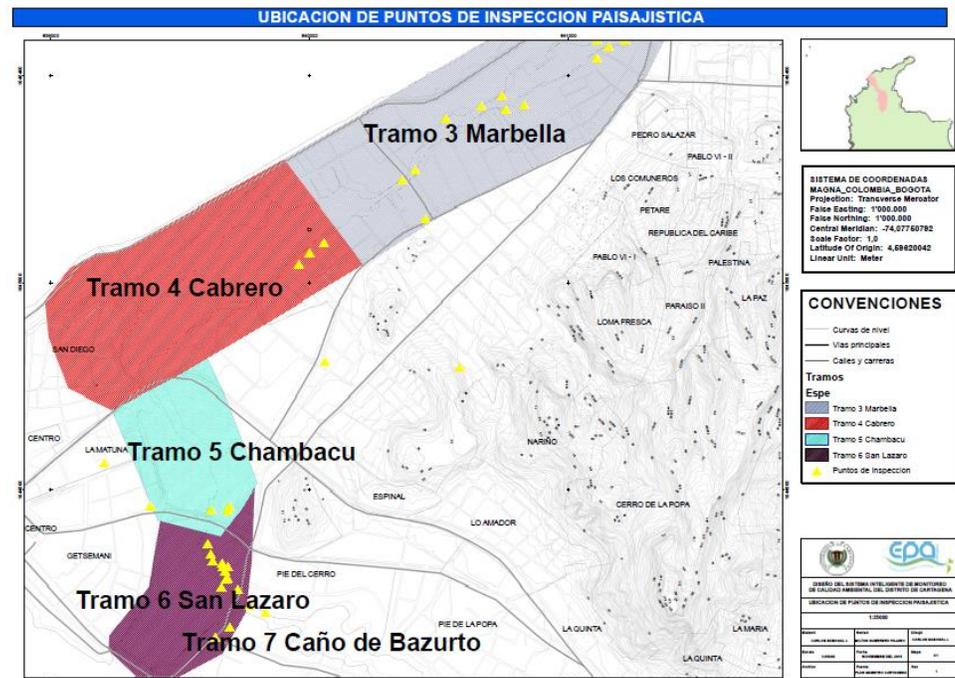


Figura 46 Ubicación de puntos de inspección paisajística. Tramos 4, 5 y 6

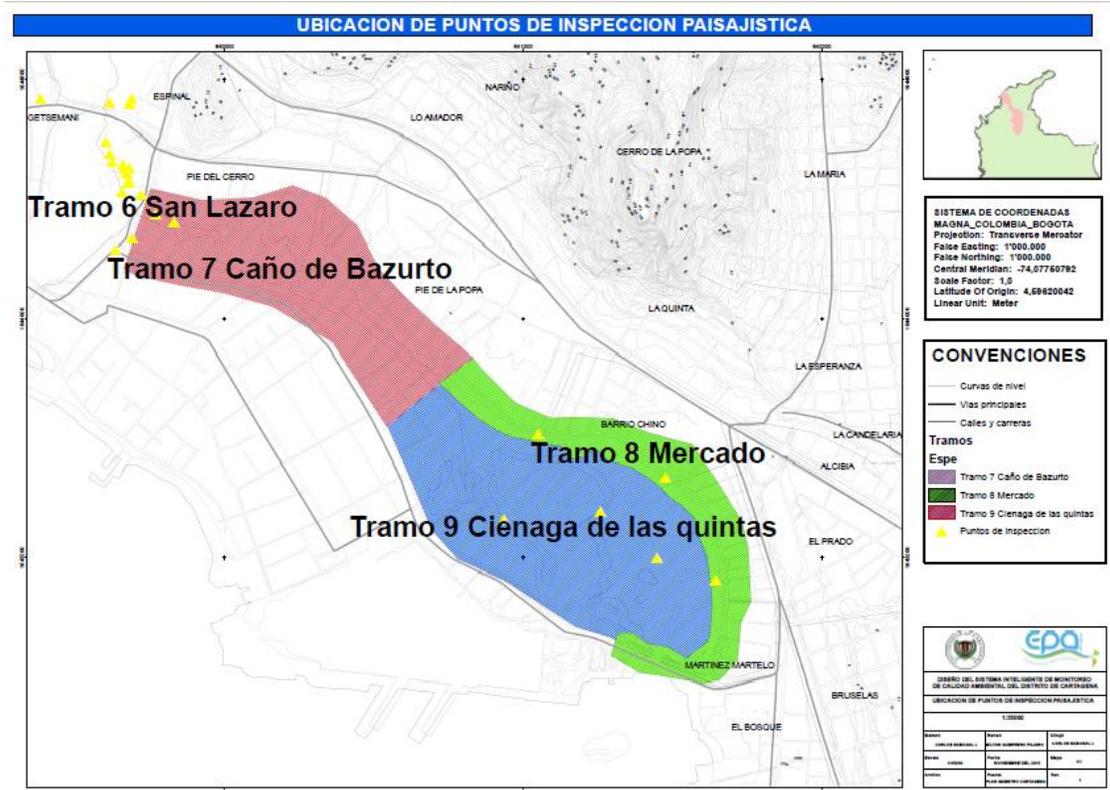


Figura 47 Ubicación de puntos de inspección paisajística. Tramos 7, 8 y 9

- **Valoración del paisaje**

La valoración de la fragilidad y la calidad paisajística se desarrollaron de acuerdo con la metodología propuesta por Bureau of Land Management (BLM, 1980), en donde se establecen los siguientes criterios de valoración de la calidad escénica aplicada, que se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28. Criterios de valoración del paisaje

CRITERIOS	CALIFICACIÓN		
MORFOLOGÍA	Relieve muy montañoso, marcado y prominente (acantilados, agujas, grandes formaciones rocosas); o bien, de gran variedad superficial o muy erosionado o sistemas de dunas; o presencia de algún rasgo muy singular y dominante (ej. glaciar)	Formas erosivas interesantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de formas y detalles interesantes pero no dominantes o excepcionales.	Fondos de valle planos, poco o ningún detalle singular.
Calificación	5	3	1

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

CRITERIOS	CALIFICACIÓN		
VEGETACIÓN	Gran variedad de tipos de vegetación, con formas, texturas y distribución interesantes.	Alguna variedad en la vegetación, pero solo uno o dos tipos.	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación.
Calificación	5	3	1
AGUA	Factor dominante en el paisaje; apariencia limpia y clara, aguas blancas (rápido y cascado) o láminas de agua en reposo.	Agua en movimiento o en reposo, pero no dominante en el paisaje.	Ausente o inapreciable.
Calificación	5	3	0
COLOR	Combinaciones de color intensas y variadas, o contrastes agradables en el suelo, vegetación, roca, agua.	Alguna variedad e intensidad en los colores y contraste en el suelo, roca y vegetación, pero no actúa como elemento dominante.	Muy poca variación de color o contraste, colores apagados.
Calificación	5	3	1
FONDO ESCÉNICO	El paisaje circundante potencia mucho la calidad visual.	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad visual del conjunto.	El paisaje adyacente no ejerce influencia en la calidad del conjunto.
Calificación	5	3	1
RAREZA	Único o poco corriente o muy raro en la región; posibilidad real de contemplar fauna y vegetación excepcional.	Característico, aunque similar a otros en la región.	Bastante común en la región.
Calificación	6	2	1
ACTUACIONES HUMANAS	Libre de actuaciones estéticamente no deseadas o con modificaciones que inciden favorablemente en la calidad visual.	La calidad escénica está afectada por modificaciones poco armoniosas, aunque no es su totalidad, o las actuaciones no añaden calidad visual.	Modificaciones intensas y extensas, que reducen o anulan la calidad escénica.
Calificación	2	1	0

Fuente: Bureau of Land Management (BLM, 1980)

La suma de los criterios establece la calidad paisajística, donde a mayor calificación una mayor calidad paisajística, como se presenta en la Tabla 29.

Tabla 29. Niveles de calidad de paisaje

Baja Calidad Paisajística	Moderada Calidad Paisajística	Alta Calidad Paisajística
5 a 13	14 a 23	24 a 33

Fuente: Bureau of Land Management (BLM, 1980)

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

5.2.7.2. Componentes Socioeconómicos

Se trabajará en fases organizadas de la siguiente forma:

- **Fase Preliminar**

- *Reconocimiento y delimitación del área de influencia del sistema lineal de ciénagas, lagunas interiores y caños.*
- *Revisión documental de fuentes secundarias disponibles y existentes de reciente publicación, en torno a las comunidades del área de influencia, preferiblemente de estudios realizados por EPA.*
- *Diseño de instrumentos de recolección de información.*
- *Empalme otras entidades distritales para realización de avanzadas interinstitucionales de recuperación de la franja, presentación de los aspectos del proyecto que requieren otros apoyos específicos de competencias distritales y abordaje de campo.*
- *Empalme con comité que se hagan el marco de los convenios a suscribir a través del proyecto de inversión.*

- **Fase de alistamiento y ejecución**

- *Inicio de trabajos de campo: empleo de instrumentos, levantamiento de la información primaria requerida a través de la aplicación de guías, entrevistas (diferentes técnicas) y reuniones.*
- *Interacción con las poblaciones directa e indirectamente involucradas por el proyecto.*
- *Acuerdos de cooperación interinstitucional y/o con comités de base de la zona que puedan dar apoyo o brindar información valiosa, en estos aspectos.*

- **Fase de caracterización, diseño y sistematización de la información**

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- *Consolidación de la información obtenida en bases de datos.*
- *Realización de análisis general situacional de la realidad encontrada y su relación con el proyecto.*
- *Presentación de fundamentos y caracterización de los aspectos sociales más relevantes.*
- *Identificación y evaluación de impactos sociales relevantes (Se utilizará la metodología propuesta con la Universidad de Cartagena, mediante el convenio con IHSA).*
- *Esquemas operativos de control y gestión social con las comunidades para el desarrollo de avanzadas interinstitucionales.*
- *Integración de la información con convenio IHSA para documento final*

El trabajo se desarrollará a partir de una perspectiva de Investigación y Acción Participativa (IAP) e incluyente, que tenga en cuenta que el sujeto de estudio del proyecto son las comunidades en tanto son ellas quienes se desenvuelven y relacionan con su ambiente. Por lo tanto, serán necesarias habilidades como la capacidad de escucha, comprensión de la cotidianidad de la comunidad, e inclusión de las perspectivas a través de las cuales las personas organizan su diario vivir.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- **Productos**

- *Informe de marco socioeconómico en base a información secundaria, para lo cual se solicitará la encuesta SISBEN a planeación distrital.*
- *Análisis de las relaciones de la población con el proyecto (conflicto y lineamientos de participación).*
- *Identificación y evaluación de impactos de tipo socioeconómico y cultural de acuerdo a metodología que establezca la firma.*
- *Zonificación de línea base y zonificación de manejo*
- *Perfiles de acciones que permitan la sostenibilidad de las alternativas propuestas desde el marco social en un plan de gestión social.*
- *Sistematización del acompañamiento social*
- *Memorias y actas de reuniones EPA*
- *Informes de avance mensual técnico y /o sistematización trimestral y seguimiento.*
- *Documento final*

5.2.8. Caracterización de la población

Con base en formatos diseñados previamente, se realizará un muestreo aleatorio para la identificación de características socioeconómicas de la población del AI, a través de entrevistas semiestructuradas y con preguntas abiertas relacionadas con datos generales del encuestado; composición familiar, principales aspectos socioeconómicos y expectativas relacionadas con el objeto del proyecto de inversión.

Las personas abordadas serán los jefes de hogar, personas mayores de 18 años, miembros de la familia y actores claves (Organizaciones de base y líderes comunitarios).

5.2.8.1. Recolección de la información primaria

Se efectuarán acercamientos a las personas de las comunidades a través de contacto personalizado, aplicación de encuestas semiestructuradas individuales a jefes de hogar, entrevistas a líderes y se trabajará también a partir de grupos de concertación.

La información primaria que se requiere, busca principalmente conocer la percepción de la población sobre el proyecto, los impactos y los beneficios, niveles de satisfacción, comportamiento, entre otros. Por otra parte, se estará al tanto de las expectativas, conocimiento e importancia que le dan al proyecto. Se contrastarán o confirmarán opiniones, con el fin de lograr una construcción social participativa de la experiencia.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

5.2.8.2. Información secundaria

Se hará una revisión documental de fuentes secundarias disponibles y existentes de reciente publicación, en torno a las comunidades del área de influencia y otros documentos que se relacionen con el estudio.

Se sugiere tener en cuenta, por cuanto aportan información valiosa y de reciente publicación para los fines de este estudio, los siguientes documentos:

- **Encuesta SISBEN planeación distrital.**
- **Información adicional recolectada por EPA o través de los convenios que se suscriban, en materia social, del área del proyecto.**

5.2.9. Criterios de selección

5.2.9.1. Entrevista a líderes comunitarios y actores claves

De acuerdo con el contexto a intervenir, se tendrá en cuenta a personas claves del AID y líderes de las comunidades objeto de estudio, en tanto son conocedores del tema, del entorno y de las problemáticas.

Los líderes escogidos deben pertenecer formalmente a la Junta de Acción Comunal, tener experiencia o conocimiento del sector comunitario donde residen.

Además deben tener las siguientes características:

- *Debe vivir en la zona de estudio (nativos) o contar con un tiempo de residencia de 10 años o más en la misma.*
- *Personas reconocidas e identificadas ampliamente por la comunidad.*
- *Conocedor y ampliamente informado de los proyectos que hacen presencia institucional en su comunidad.*
- *Dispuesto a colaborar con la recolección de la información.*

El abordaje a la población se hará con diferentes técnicas, que incluyen además entrevistas directas, telefónicas y contactos por internet (si es posible).

5.2.9.2. Caracterización de la población

El diseño metodológico para el estudio socioeconómico se enmarca dentro de una perspectiva cualitativa, donde la calidad de la información a obtener es de mucha importancia. La representatividad de la población, está dada por el esfuerzo de inclusión de todos los elementos posibles presentes en el entorno a evaluar. Por ello, la calidad está

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

condicionada por los criterios de selección de los/las informantes clave, lo cual lleva a elegir muestreos intencionados o por criterio o fines especiales.

La intención está orientada por las necesidades de información que subyacen en los objetivos del proyecto. El criterio de selección de las personas a encuestar está determinado por su residencia en el área o en predios adyacentes al sistema lineal de ciénagas, lagunas interiores y/o caños.

Con base en estos datos se definirán los criterios que orienten la selección de la información precisa, para los aspectos pendientes de complementación y más relevantes del marco social.

5.2.10. Sensibilización, socialización y primeros acercamientos a las comunidades

Se llevarán a cabo acercamientos a la población, con el fin de sensibilizar a través de lineamientos previos, sobre lo que serán los verdaderos alcances del proyecto, lo cual se hará mediante convocatoria y atención personalizada, reuniones, y/o grupos de concertación y resaltando aquellas actividades donde se requiera la participación y apoyos de las comunidades, con el fin de hacer más fácil el proceso de recolección de información o de los trabajos de campo.

Esta preparación requerirá de espacios, donde la comunidad pueda expresar confiadamente su sentir, percepciones, y hábitos con relación al proyecto, donde pueda expresar también la comprensión de su entorno, sus problemáticas ambientales relacionadas con el proyecto.

5.2.11. Relaciones entre la calidad ambiental del sistema de caños y lagos internos y los componentes biofísicos y socioeconómicos que se encuentran en su área de influencia

Una vez descritos los componentes biofísicos y socioeconómicos que hacen parte del área de influencia del sistema de caños y lagos, se procedió a identificar y analizar los procesos o relaciones de interdependencia que existen entre ellos y el sistema de caños, y que se deben garantizar para que el ecosistema funcione adecuadamente. Dichas relaciones fueron identificadas al confrontar, en un panel de expertos, los componentes biofísicos y socioeconómicos frente al sistema de caños y lagos, obteniendo así las siete relaciones que se muestran en la Figura 48 y Tabla 30. Seguidamente son descritas y analizadas cada una de ellas.

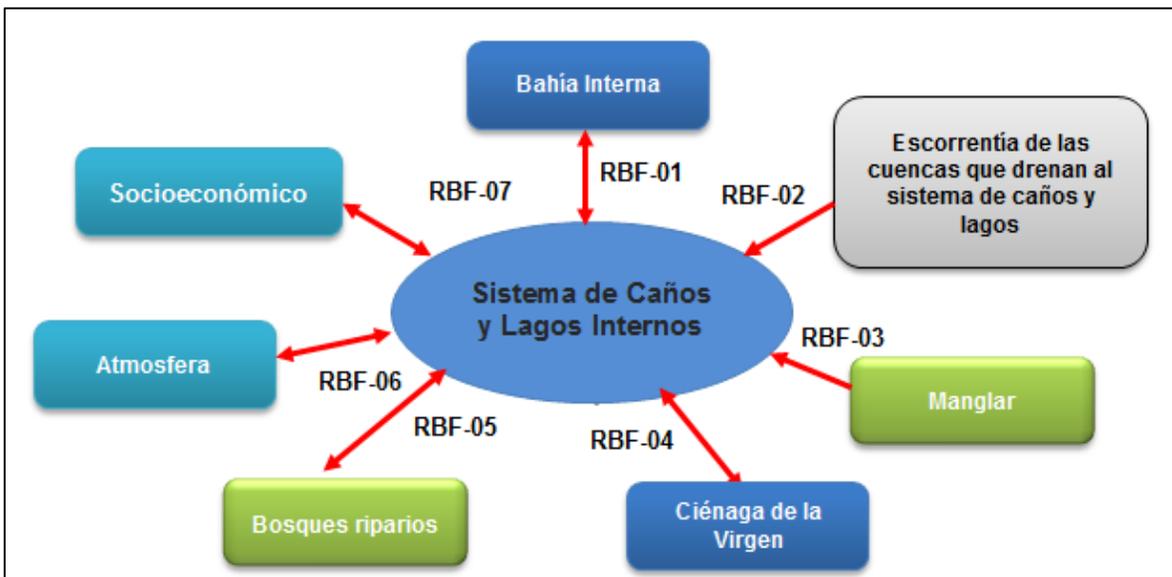


Figura 48. Esquema de Relaciones de interdependencia entre el Sistema de Caños y lagos internos y los componentes biofísicos del área de influencia.

Tabla 30. Relaciones de interdependencia de los componentes ambientales que conforman el ecosistema.

Puntos de relaciones o de flujos.	Componentes que intervienen en la relación	Tipo de Relación
RBF-01	Relación Bahía Interna con Laguna de San Lazaron y Ciénaga de las Quintas	Control hidrodinámico Condicionamiento de la calidad del agua.
RBF -02	Relación escorrentía de las cuencas que drenan al sistema de caños y lagos y el sistema de caños y lagos.	Control de niveles del sistema de caños y lagos. Variación de la Calidad del Agua de la ciénaga. Aporte de Sedimentos.
RBF -03	Relación Manglar con el sistema de caños y lagos.	Filtro de nutrientes, sedimentos y humedad del suelo Regulador de la escorrentía.
RBF -04		Condicionamiento de la calidad del agua.

	DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015	Revisión: 0 Fecha: Diciembre-2015
---	---	--

Puntos de relaciones o de flujos.	Componentes que intervienen en la relación	Tipo de Relación
	Relación ciénaga de la Virgen con Sistema de caños y lagos	Control hidrodinámico
RBF -05	Relación vegetación de las cuencas que drenan a los caños y lagos y el sistema de caños y lagos.	Filtro de nutrientes, sedimentos y humedad del suelo. Regulador de la escorrentía. Corredores Biológicos.
RBF -06	Relación Condiciones Climáticas con el suelo y el ecosistema.	Control de caudales de escorrentía. Proveedor de energía y agua al ecosistema.
RSE-01	Prácticas socioeconómicas – Sistema de Caños y Lagos.	Disposición de Residuos sólidos. Invasión de zona de rondas hídricas. Vertimiento de aguas residuales. Aporte de Servicios ambientales (Paisaje).

Todas estas relaciones fueron descritas y analizadas a partir de información secundaria.

5.2.12. Metodología para el planteamiento de recomendaciones para el ordenamiento territorial del sistema de caños y lagos y su área de influencia

Fueron definidas bajo un enfoque que busca la recuperación, protección y manejo adecuado de las zonas que garantizan el mantenimiento de las relaciones que se deben presentar entre los componentes biofísicos del área de estudio para que la estructura ecológica del principal del sistema se conserve.

5.3. TOMO III - Metodología para la formulación del Sistema inteligente de monitoreo de calidad ambiental del recurso hídrico en la ciudad de Cartagena en el parque lineal de caños y lagos internos.

5.3.1. Metodología para la formulación del Protocolo de la red inteligente de monitoreo y seguimiento de la calidad del agua del sistema de caños y lagos,

Para la elaboración del protocolo y diseño de la red se escogió para el convenio seguir las directrices del del World Meteorology Organization “planning of water-quality monitoring systems” (2013). A las directrices de la WMO se le sumó primeramente un análisis del estado del arte para determinar si las directrices eran acordes con lo que se encuentra a nivel nacional e internacional, el resultado de este análisis indicó que iba de la mano lo planteado con lo existente, monitoreos in situ (automáticos) acompañados de campañas de muestreo y laboratorio, frecuencias de muestreo y demás. Las directrices o estructura que presenta la WMO es la que se puede observar en la Figura 49.

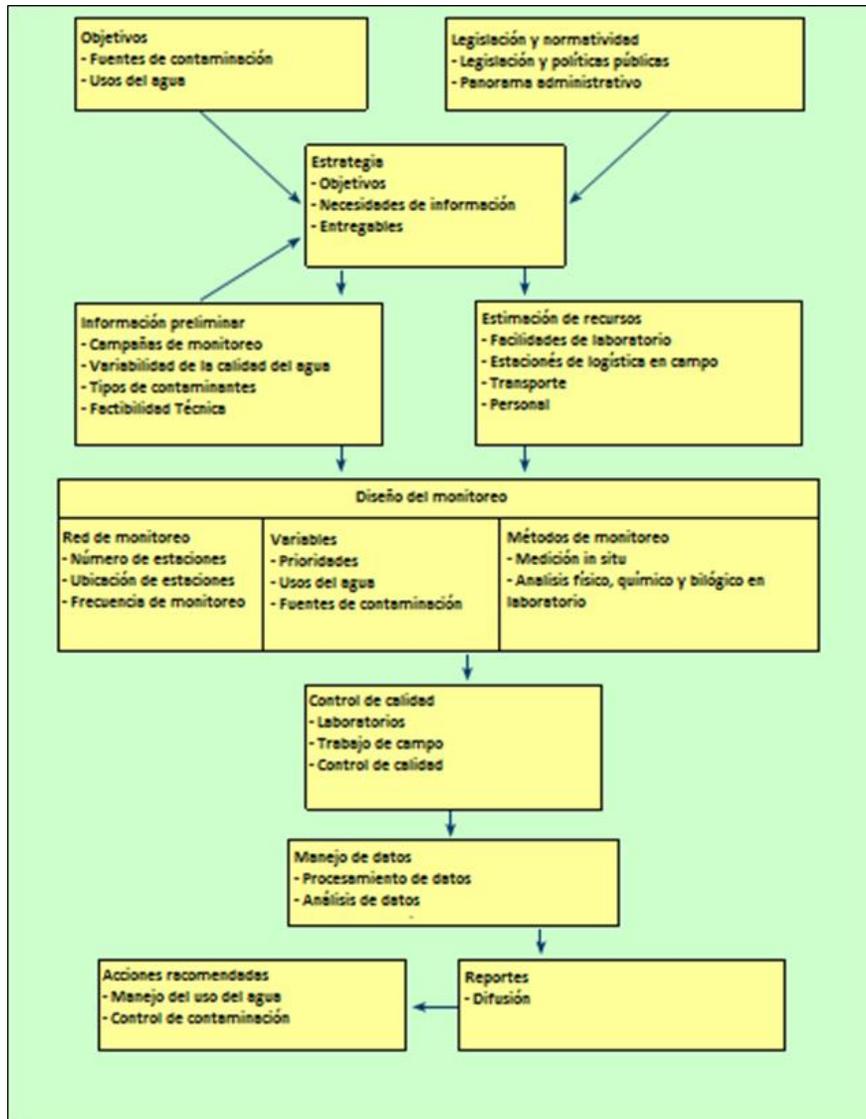


Figura 49. Estructura de las directrices de la WMO.

Fuente: Modificado (WMO, 2013)

Se plantea lo más importante que son los objetivo o razón de ser del sistema de monitoreo, que usualmente está relacionado directamente con los usos del agua y las fuentes contaminantes; objetivos que de la mano con la legislación y normativa permiten establecer una estrategia con objetivos puntuales, que responden a la pregunta de por qué se va a realizar los monitoreos. Esta estrategia se alimenta de experiencia de monitoreos preliminares, o salidas de campos, los cuales permiten que los componentes propuestos para la red sean considerados como viables teniendo como criterio la experiencia preliminar adquirida. Seguidamente se realiza el diseño de la red de monitoreo que tiene tres (3)

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

componentes principales: la red (estaciones), las variables y los métodos. La red contempla la selección de estaciones, el número y la frecuencia de muestreo. Las variables contemplan la selección de acuerdo a: la prioridad, los usos de agua y las fuentes de contaminación. Y los métodos diferencia aquellos monitoreos realizados in situ, automáticos y en laboratorio. El diseño de la red también se retroalimenta de la estimación de recursos, para que el planteamiento sea factible.

La siguiente fase en el diseño consiste en la operación de la red, definiendo las acciones a llevar a cabo para asegurar la calidad de los datos con trabajos de calibración comparación con mediciones de laboratorio y mantenimiento general de los sistemas. Por último, se define la manipulación y manejo de datos a partir de los cuales se generan reporte que dan paso a recomendaciones y decisiones con respecto al estado del cuerpo de agua monitoreado.

La estructura explicada en el párrafo anterior se siguió realizando unas modificaciones en el orden, y se tuvo también en cuenta para definir algunos de los componentes de la red y el protocolo las experiencias descritas en el análisis del estado del arte. De esta manera para la selección de las estaciones se realizó un matriz cualitativa, se escogieron variables de monitoreo bióticas a partir de los resultados de las campañas adscritas al convenio, entre otros.

Para la ingeniería de detalle de las dos (2) estaciones se buscó la solución que se cree presta mayor seguridad a los equipos, y se observó las zonas en donde se plantearon que estructura existente se podía aprovechar y que tipo de estructura había permanecido un tiempo considerable en la zona. A partir de esto se decidieron dos estructuras diferentes, una un pilote y otra una caja de concreto, a cada uno va unido una tubería perforada donde se almacena el equipo de monitoreo. Para la selección de equipos se dividió la estación en tres partes: el sistema de alimentación, sistema de almacenamiento y comunicación y el equipo medidor, de cada uno se describen las características y especificaciones para que puedan funcionar en conjunto y en el caso del equipo medidor se dan unas especificaciones de un equipo que se encuentre en el estado del arte de los medidores in situ actuales.

5.3.2. Metodología para la formulación de los Lineamientos para el control de inundaciones en el sistema de caños y lagos

La metodología establecida para la realización de los lineamientos para el control de inundaciones en el Distrito de Cartagena consistió en una revisión bibliográfica para la determinación de diferentes aspectos que permitieron la realización de los procedimientos establecidos en los capítulos del documento. Básicamente se concreta en el siguiente aspecto:

Revisión del estado del arte acerca del control de inundaciones a nivel mundial, regional y local, lo que permitió identificar los procedimientos generales a considerar dentro de los lineamientos para el control de inundaciones.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

5.3.2.1. Mapas de zonas de inundación

Inundación, por definición, consiste en el cubrimiento temporal con agua de áreas adyacentes a cuerpos de agua que, generalmente y en condiciones normales, están secas. Típicamente, las áreas de terreno propensas a la inundación se encuentran en las áreas – topográficamente bajas– adyacentes a los cuerpos de agua (ríos, arroyos, caños, lagos, lagunas, océanos). La identificación de las zonas propensas a inundaciones se realiza a través de la delimitación de las mismas. El límite por inundación extrema (basado en el concepto de *dos zonas de inundación*) lo define la altura del nivel de agua producido por:

- a. Una inundación registrada y/o experimentada por un evento de lluvia extremo ocurrido.
- b. Un caudal con un período de retorno de 100 años, interpretado no como 1 cada 100 años, si no como aquel evento con una probabilidad de ocurrencia del 1% en cualquier año dado. El valor del caudal de inundación con período de retorno de 100 años deberá ser recalculado cada vez que suceda un evento nuevo registrado de mayor magnitud, con lo cual las zonas de inundación serán redefinidas (delimitadas nuevamente)
- c. Un evento de lluvia con un período de retorno de 100 años, aclarando que un evento de lluvia con un período de retorno de 100 años no necesariamente genera un caudal con el mismo período de retorno (esta fue la consideración que se tomó para este estudio).
- d. El mayor de los valores definidos en los ítems a, b y c.

Para el delineamiento de las zonas propensas de inundación aledañas al sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena se determinaron los volúmenes de escorrentía de todas las cuencas que drenan al sistema. Se asumió un escenario crítico que consiste en suponer que todos los cuerpos de agua son lenticos y se determinó hasta dónde llegaba el nivel del agua en cada uno de los cuerpos de agua. Como insumos adicionales se utilizaron: (a) batimetría, (b) topografía a 1 metro partiendo del borde o límite con los niveles tomados en la batimetría y (c) niveles de los cuerpos de agua.

5.3.2.2. Determinación de los volúmenes generados por la precipitación

Determinación de los eventos de precipitación para los períodos de retorno (T_r) de diseño (25, 50 y 100 años).

Se realizó un análisis de frecuencia usando el método Weibull (Weibull, 1939). Para esto se utilizaron los registros multianuales de precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica del aeropuerto Rafael Núñez suministrado en la sección de hidrología del Tomo 3. La Tabla 31 muestra los cálculos realizados y la Figura 50, muestra la gráfica que permite determinar cualquier evento de lluvia para un T_r dado.

Tabla 31 Análisis de frecuencia de precipitación (método Weibull) estación Rafael Núñez

Rango	Año	Prec. (mm)	Prob. de excedencia	Tr (años)
1	1989	201,80	0,02	66,0
2	2007	183,10	0,03	33,0
3	1987	171,30	0,05	22,0
4	1985	164,50	0,06	16,5
5	2003	161,80	0,08	13,2
6	1992	161,50	0,09	11,0
7	1970	157,00	0,11	9,4
8	2010	150,70	0,12	8,3
9	2004	149,00	0,14	7,3
10	2011	146,10	0,15	6,6
11	1980	135,90	0,17	6,0
12	1993	133,40	0,18	5,5
13	1969	129,00	0,20	5,1
14	1974	126,40	0,21	4,7

Rango	Año	Prec. (mm)	Prob. de excedencia	Tr (años)
15	1981	124,40	0,23	4,4
16	2006	122,30	0,24	4,1
17	1979	120,70	0,26	3,9
18	1972	120,00	0,27	3,7
19	2000	116,20	0,29	3,5
20	2014	116,00	0,30	3,3
21	1988	115,00	0,32	3,1
22	1955	110,10	0,33	3,0
23	1958	109,30	0,35	2,9
24	1960	109,00	0,36	2,8
25	1999	108,50	0,38	2,6
26	1948	107,00	0,39	2,5
27	1971	104,70	0,41	2,4
28	1984	102,70	0,42	2,4
29	1975	101,60	0,44	2,3

Rango	Año	Prec. (mm)	Prob. de excedencia	Tr (años)
30	1997	99,60	0,45	2,2
31	1996	99,40	0,47	2,1
32	1982	98,00	0,48	2,1
33	2008	95,30	0,50	2,0
34	1956	95,00	0,52	1,9
35	2012	94,20	0,53	1,9
36	1951	93,00	0,55	1,8
37	1954	90,10	0,56	1,8
38	1965	89,00	0,58	1,7
39	1968	89,00	0,59	1,7
40	2013	88,00	0,61	1,7
41	1998	85,60	0,62	1,6
42	1950	85,00	0,64	1,6
43	1990	77,80	0,65	1,5
44	2005	76,40	0,67	1,5

Rango	Año	Prec. (mm)	Prob. de excedencia	Tr (años)
45	1995	76,30	0,68	1,5
46	2001	76,20	0,70	1,4
47	1966	76,00	0,71	1,4
48	1962	75,00	0,73	1,4
49	1973	74,10	0,74	1,3
50	2002	73,50	0,76	1,3
51	1964	69,00	0,77	1,3
52	1978	68,60	0,79	1,3
53	1959	68,00	0,80	1,2
54	1967	67,00	0,82	1,2
55	1961	65,00	0,83	1,2
56	1986	64,90	0,85	1,2
57	1983	63,40	0,86	1,2
58	2009	61,30	0,88	1,1
59	1977	60,50	0,89	1,1

Rango	Año	Prec. (mm)	Prob. de excedencia	Tr (años)
60	1963	59,00	0,91	1,1
61	1994	54,80	0,92	1,1
62	1976	54,40	0,94	1,1
63	1949	53,50	0,95	1,0
64	1953	51,00	0,97	1,0
65	1952	41,00	0,98	1,0
66	1957	40,00	1,00	1,0

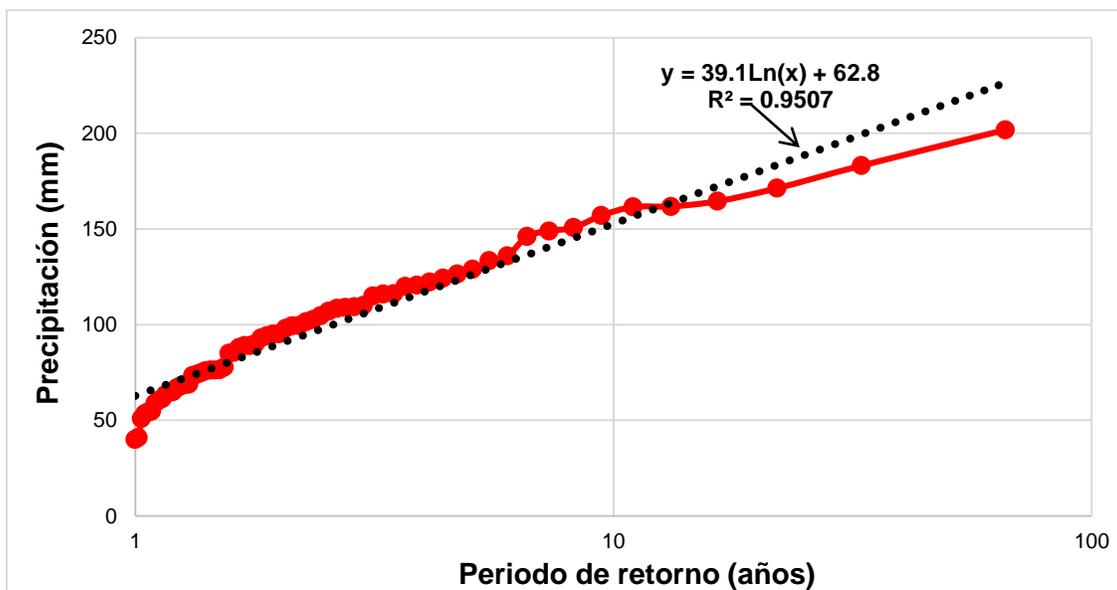


Figura 50 Regresión Precipitación – Período de retorno.

Nota: el eje de las abscisas esta en escala logarítmica

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

La Tabla 32 muestra los valores de precipitación para los 3 períodos de retorno.

Tabla 32 Eventos de precipitación de diseño (Tr 25, 50 y 100 años)

Tr (años)	Precipitación (mm)
25	188,53
50	215,59
100	242,66

5.3.2.3. Determinación de los volúmenes de escorrentía generados

Con los valores de precipitación estimados en el ítem anterior y los CN de cada cuenca se utilizó el método CN con un λ de 0,05 (la metodología del CN se explica en el Tomo 3 del estudio). La Tabla 33 muestra los valores estimados.

Tabla 33. Volúmenes de escorrentía para Tr 25, 50 y 100 años

Vol_{25} (m^3)	Vol_{50} (m^3)	Vol_{100} (m^3)
978.213,78	1.145.141,68	1.313.176,59

5.3.2.4. Determinación de los niveles de agua

Se determinó el nivel de agua alcanzado en cada uno de los cuerpos de agua para cada uno de los 3 valores de volúmenes de escorrentía calculados en el ítem anterior. Para esto, se realizó un acoplamiento entre batimetría y topografía con el fin de obtener un modelo digital de elevación (MDE) uniforme que integre las dimensiones del cuerpo de agua y el relieve del terreno en Cartagena (Figura 51).

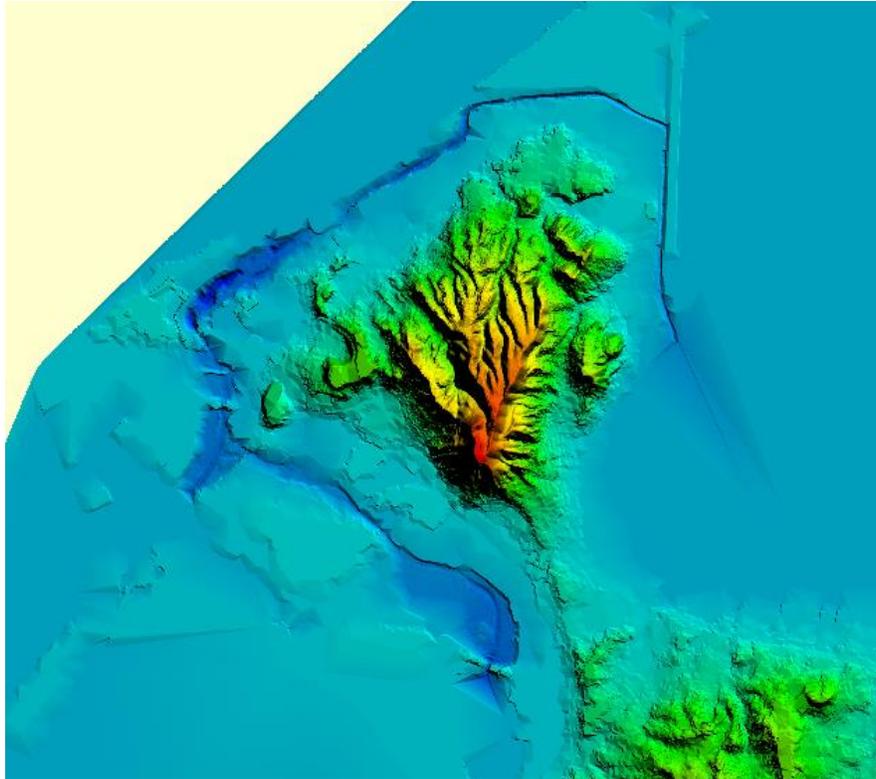


Figura 51 MDE del sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena

Partiendo de este MDE, se determinaron nuevas isolíneas de elevación cada 0,5 m, tomando como punto más bajo la profundidad máxima (-8,0 m) del cuerpo de agua, hasta una cota de 1,5 msnm (Figura 52).

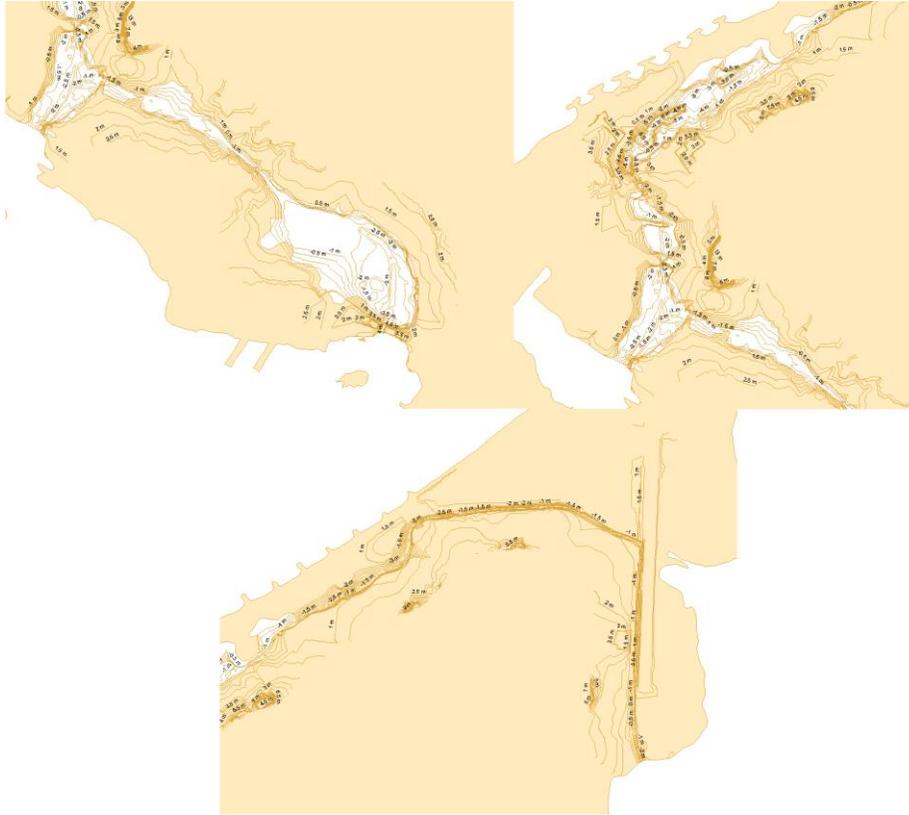


Figura 52. Isolíneas de elevación del sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena.

Las nuevas isolíneas de elevación nos permiten identificar los niveles o cotas y relacionarlos con un área de espejo de agua y un volumen almacenado. Estas 3 relaciones Elevación-Área-Volumen pueden ser representadas gráficamente permitiendo así determinar cuál es el comportamiento del cuerpo de agua a partir de cualquiera de dichos valores. El resultado obtenido según las condiciones definidas en los párrafos anteriores se muestra en la Tabla 34 y la Figura 53, Figura 54 y Figura 55.

Tabla 34. Valores de Elevación-Área-Volumen

Cota	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Cota	Área (m ²)	Volumen (m ³)
-8,0	83,75	0,00	-3,0	894.78,61	108.979,59
-7,5	636,74	180,12	-2,5	182.110,51	176.876,87
-7,0	1.671,28	757,13	-2,0	315.532,71	301.287,68
-6,5	5895,68	2648,87	-1,5	492.299,33	503.245,70
-6,0	11.554,48	7011,42	-1,0	776.630,05	820.478,03
-5,5	17.706,57	14326,67	-0,5	938.922,80	1.249.366,24
-5,0	23.624,24	24659,37	0,0	1.069.697,19	1.751.521,24
-4,5	29.081,41	37835,79	0,5	1.261.611,08	2.334.348,31
-4,0	36.036,81	54115,34	1,0	2.548.582,88	3.286.896,80
-3,5	46.970,79	74867,24	1,5	3.325.539,08	4.755.427,29

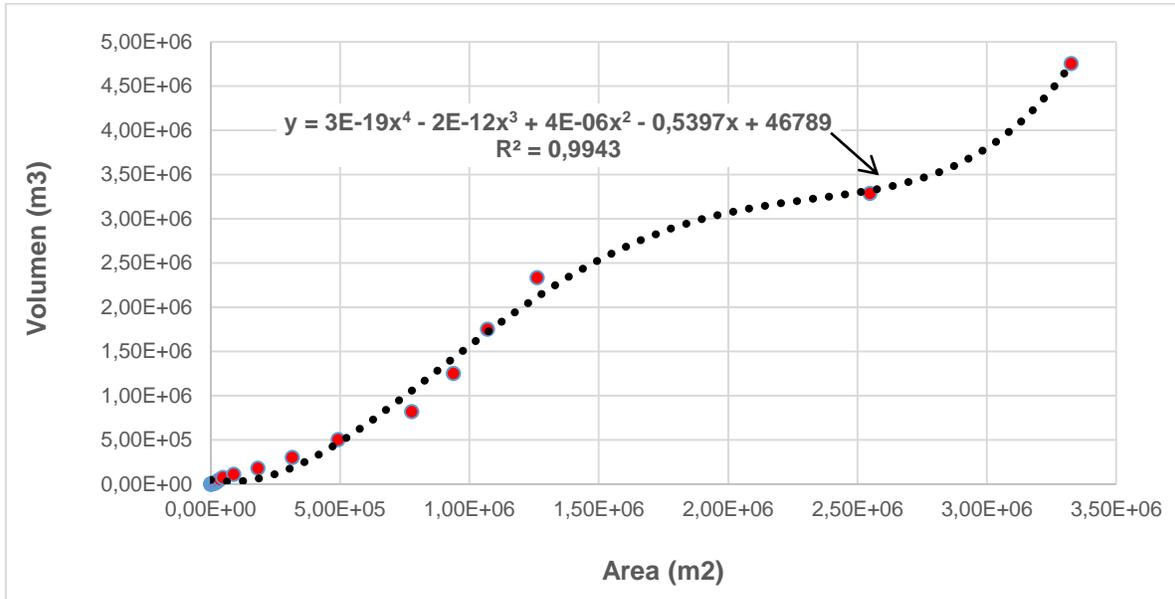


Figura 53. Relación Área-Volumen para el sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena

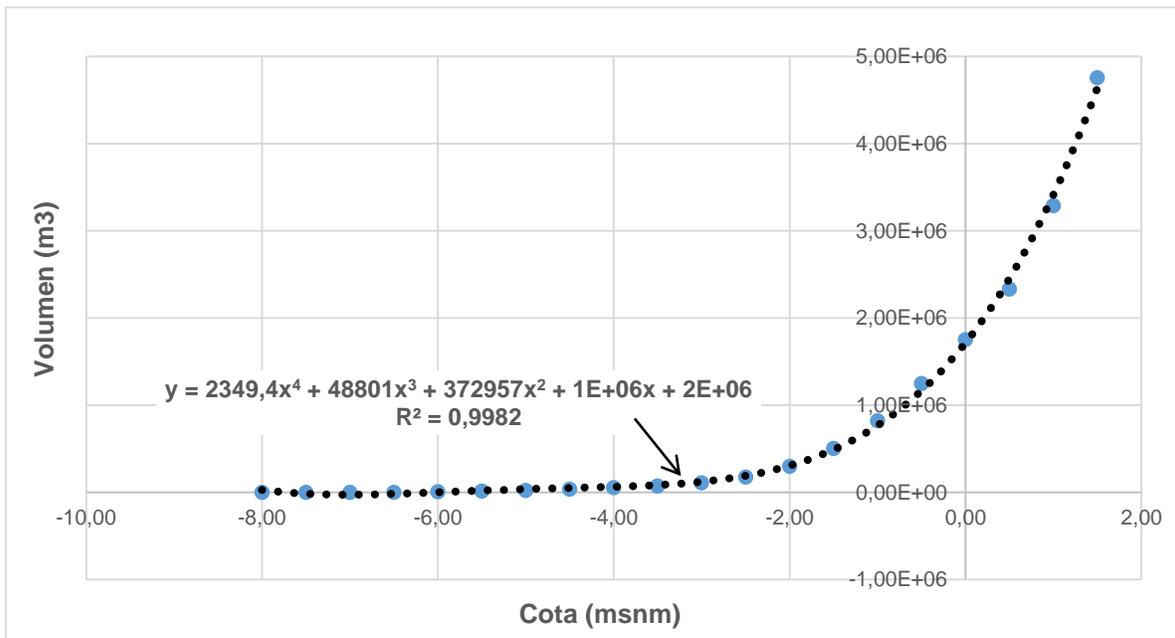


Figura 54. Relación Volumen-Elevación para el sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena

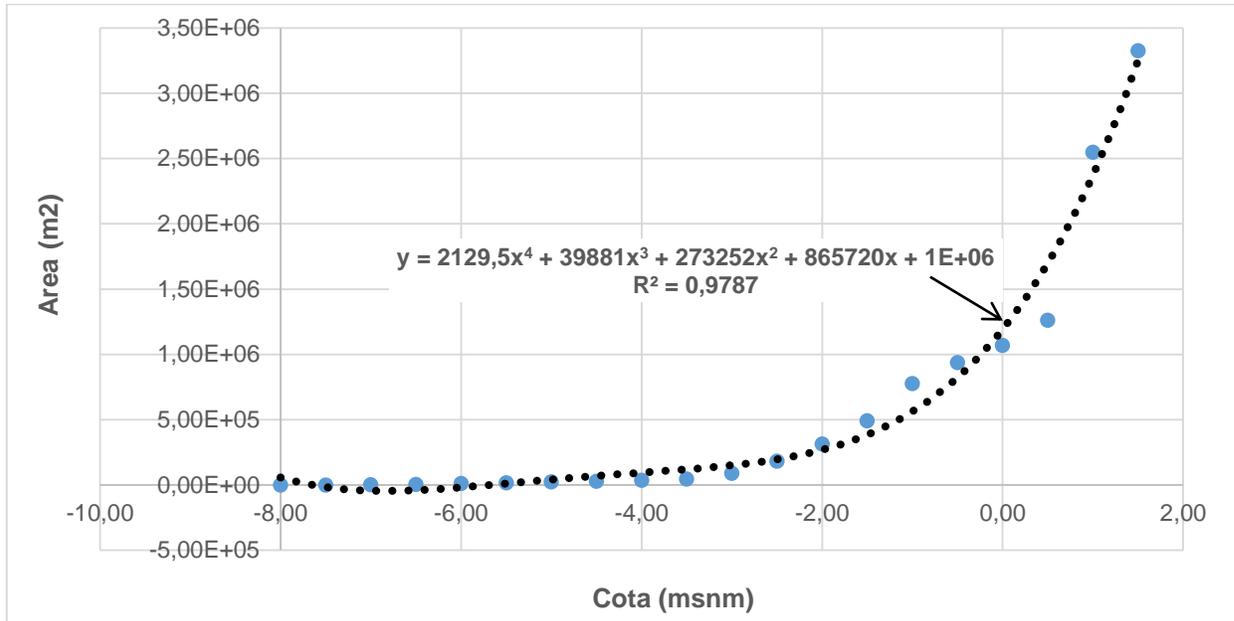


Figura 55 Relación Área-Elevación para el sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena

5.4. TOMO IV – Metodología para la formulación del Protocolo de la red de monitoreo de calidad de aire existente en la ciudad de Cartagena.

El protocolo de la red de monitoreo de calidad de aire en la ciudad de Cartagena se estructuró bajo los lineamientos establecidos en el manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire y manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire que hacen parte integral del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Resolución 2154 de 2010) del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

La metodología utilizada busca dar cumplimiento a los objetivos del Sistema de vigilancia de calidad del aire de la ciudad de Cartagena, los cuales se describen a continuación:

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- *Determinar el cumplimiento de las normas nacionales de calidad de aire.*
- *Evaluar las estrategias de control de a las autoridades ambientales.*
- *Observar las tendencias a mediano y largo plazo.*
- *Evaluar el riesgo para la salud humana.*
- *Determinar posibles riesgos para el ambiente.*
- *Activar los procedimientos de control en situaciones de emergencias.*
- *Estudiar fuentes de contaminación e investigar quejas concretas.*
- **Objetivos Técnicos a corto, mediano y largo plazo**
 - *Objetivos a corto plazo (Un año):*
 - *Iniciar las mediciones de calidad de aire en la ciudad generando información que cumpla con los criterios de confiabilidad, representatividad, disponibilidad y oportunidad.*
 - *Complementar el inventario de emisiones de la ciudad*
 - *Hacer campañas de monitorio de contaminantes no convencionales*
 - *Integrar los datos al SISAIRES.*
- **Objetivos a Mediano Plazo (2 a 3 años):**
 - *Actualizar inventarios de emisiones cada dos años*
 - *Implementación de un modelo de dispersión gaussiano de la ciudad.*
- **Objetivos a Largo Plazo (2 a 3 años):**
 - *Evaluar las estrategias de control de las autoridades ambientales*
 - *Iniciar la toma de datos para estudios epidemiológicos.*

Este documento se encuentra dividido en 7 capítulos. El primer y actual capítulo presenta el objetivo, audiencia y organización del protocolo, el segundo capítulo muestra el marco legal vigente asociado a la calidad del aire a nivel internacional y nacional. El tercer capítulo contempla el diagnóstico de la calidad del aire en la ciudad, teniendo en cuenta las características geográficas y meteorológicas, al igual que los inventarios de emisiones y campañas de monitoreo realizadas. El cuarto capítulo presenta los lineamientos y metodología para la determinación de factores de emisión de fuentes móviles y fijas en la ciudad de Cartagena para la construcción de inventarios de emisiones. El capítulo 5

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

presenta la modelación de la calidad el aire como herramienta de gestión, exponiendo las diversas aplicaciones y modelos existentes, mostrando recomendaciones específicas para la ciudad de Cartagena. El desarrollo del capítulo 6 se centra en la presentación de los resultados actuales reportados por la red de monitoreo de calidad del aire y propone los lineamientos para la implementación del sistema inteligente de monitoreo el cual incluye la ubicación de nuevas estaciones de monitoreo fijas e indicativas y los parámetros de se deben evaluar para cada punto. Finalmente, el capítulo 7 compila las recomendaciones sugeridas en todo el documento.

Se determinaran las concentraciones utilizando equipos automáticos para las mediciones de material particulado y un analizador de monóxido de Carbono marca Thermo Electron (Alemania). Para el CO se detectará con un sistema de correlación infrarroja (Thermo Electron modelo 48i) y la concentración y tamaño de las PM_{2,5} por nefelometría (Thermo Electron DataRam 4), también será utilizada una estación meteorológica portátil con sensores para estimar los siguientes parámetros: presión Barométrica, temperatura, humedad relativa, radiación solar, pluviometría, dirección y velocidad del viento, durante el periodo comprendido entre Julio de 2015 y Septiembre de 2015; en tres estaciones (Veterinaria los Alpes, Almacén San Judas, y el Peaje de Ceballos).

A continuación se detalla la metodología realizada por la Ingeniera Vanessa Álvarez como proyecto de investigación para la obtención de su título como Magister en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cartagena, así como quedó expresado en la Propuesta presentada, aparte 5 “Metodología recurso aire”. La tesis se titula “*Estimación de los factores de emisión para CO y PM_{2.5} generados por el tráfico vehicular en la ciudad de Cartagena*”.

- **Sitios de muestreo**

Se seleccionaron 3 sitios, teniendo en cuenta los siguientes factores: seguridad, influencia de otras fuentes, facilidad del montaje de los equipos, accesibilidad al sitio, identificación de barreras y obstáculos, mediciones previas y modelaciones de calidad del aire usando el software CALINE 3. La selección de los sitios fue definida de acuerdo con la metodología propuesta en (Alvarez Vanessa, 2015). Cada muestreo se hizo durante un periodo de treinta días por sector desplazando los equipos de un sector a otro luego de cumplido el periodo.

La campaña de medición involucró la participación de aproximadamente 7 personas durante tres meses de mediciones. Durante este periodo se desarrollaron las siguientes actividades:

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- *Trabajos de campo para el estudio del entorno. Recorridos. Reportaje fotográfico (inspección visual).*
- *Instalación de los equipos para la realización de la campaña de medición luego de haberse calibrado.*
- *Aforos conteos vehiculares manualmente: Se plasmó una tipificación y caracterización de la vía de análisis, realizándose una caracterización de los vehículos que transitaban por el área de estudio en diversas horas para determinar la distribución relativa de los diferentes componentes de la flota: buses, camiones, vehículos particulares, taxis y motos, fueron empleadas tres personas en el conteo ubicadas en el sitio de muestreo de la siguiente forma: Uno en el carril derecho, uno en el carril central y otro en el izquierdo. Previo al inicio del muestreo, se registró el nombre y la ubicación de las estaciones y la temperatura.*

- **Meteorología**

Los datos meteorológicos, fueron obtenidos por una estación meteorológica portátil marca Oregon Scientific y modelo WMR200/WMR200A professional, ubicada en cada uno de los sitios seleccionados, permitiendo el monitoreo continuo con una resolución temporal de 5 minutos, esta estación está conformada por un panel solar, un anemómetro inalámbrico, un pluviómetro, un sensor de temperatura y humedad, Equipada con un interfaz para el acceso de información, captura más de 10 medidas meteorológicas, hasta 100 metros de distancia, mide temperatura de interior y al aire libre corriente y humedad, velocidad de viento y dirección, índice de calor, presión barométrica y datos de precipitación.

- **Contaminantes**

Los equipos de medición de la red permiten el monitoreo continuo con una resolución temporal de 5 y 1 minutos de las concentraciones atmosféricas de monóxidos de carbono (CO) y material particulado (PM) respectivamente. Las concentraciones de CO y de PM se midieron con equipos de monitoreo marca Thermo Electron (Alemania). Para el CO se detectó con un sistema de correlación infrarroja (Thermo Electron modelo 48i) y la concentración y tamaño de las PM 2.5 por nefelometría (Thermo Electron DataRam 4).

Cada muestreo se hizo durante un periodo promedio de treinta días por sector, desplazando los equipos de un sector a otro luego de cumplido el periodo. Los equipos fueron instalados en todos los sectores siguiendo las recomendaciones de la compañía proveedora (THERMO ELECTRON) y los protocolos del EPA ("US Environment Protection Agency" (Acta WMO/TD-No. 1250 2006) teniendo en cuenta las consideraciones especiales para muestreos en ciudades.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- **Aforos vehiculares**

Los aforos fueron realizados mediante método manual, 8 días al mes, registrando el número de vehículos cada 5min en un periodo de 2 horas, entre días normales, fines de semana y días sin moto.

5.5. Tomo V - Metodología para la formulación de los lineamientos para establecer la red de monitoreo de calidad de ruido ambiental en la ciudad de Cartagena

Para la formulación de los lineamientos para el establecimiento de la red de monitoreo de ruido ambiental en Cartagena de Indias fue primeramente desarrollada la consulta del marco legal colombiano respecto a la medición de este contaminante y los niveles de ruido existentes, de acuerdo con estudios previos, desarrollados tanto por la Universidad de Cartagena como el Establecimiento Público Ambiental (EPA) de Cartagena.

El establecimiento del desarrollo del sistema de monitoreo está enfocado en un sistema inteligente, para el cual se plantearon dos etapas a desarrollar, la primera corresponde al diagnóstico de la contaminación por ruido existente y la segunda al establecimiento de la red de monitoreo. Estas etapas se basan en el hecho de que el diseño de cada uno de los componentes del sistema, bien sea los componentes físicos y/o software deben basarse en las condiciones de contaminación existentes en la ciudad al momento de su establecimiento si se quiere llevar a cabo un monitoreo representativo. La formulación de las etapas para el desarrollo del sistema fueron establecidas con base en el artículo científico “Diseño De La Red De Vigilancia De Ruido Para Los Municipios Que Conforman El Área Metropolitana Del Valle De Aburrá” y la metodología usada en los estudios previos “Elaboración De Los Mapas Digitales De Ruido Ambiental Del Perímetro Urbano De La Localidad 3 Del Distrito De Cartagena D.T Y C.” y “Elaboración De Los Mapas Digitales De Ruido Ambiental Del Perímetro Urbano De Las Localidades 1 y 2 De La Ciudad De Cartagena D.T Y C.”, desarrollados por el EPA de Cartagena.

La primera etapa comprende:

- **Zonificación acústica de la ciudad**

Las directrices para su desarrollo fueron estipuladas con base en la guías técnicas otorgadas para la zonificación acústica “Guía Técnica Para La Integración De La Gestión Del Ruido En El Planeamiento Estructural: Zonificación Acústica. Aplicación Del Decreto 213/2012 Sobre Contaminación Acústica En La CAPV” desarrollada por la Diputación Foral de Bizakia y “Guías Para La Gestión Y Evaluación De La Contaminación Acústica” desarrollada por el Departamento de Territorio y Sostenibilidad de Cataluña y la normativa colombiana para la medición de ruido, es decir la Resolución 627 de 2006. Además, fue desarrollado un ejemplo para la muestra de este proceso con base en la dicha normativa y el POT 2001.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- **Inventario de fuentes móviles**

El establecimiento de las directrices para su ejecución fue desarrollado con base en la metodología usada en los estudios previos anteriormente mencionados y complementados con informes científicos enfocados en la descripción de las variables que intervienen en la emisión de ruido por tráfico motorizado, tales como “Modelación Matemática Del Ruido Generado Por El Tráfico Vehicular En El Área Urbana De La Ciudad De Cartagena De Indias” y “Evaluación De La Contaminación Acústica En Intersecciones En La Ciudad De Cartagena”, aportados por la Universidad de Cartagena y “Lineamientos Para La Evaluación Del Impacto Ambiental Del Ruido Por Tráfico Rodado Motorizado En Bogotá” desarrollado por la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá.

- **Inventario de fuentes fijas**

Las líneas guías para la identificación de las fuentes fijas fue desarrollada con base en los estudios previos anteriormente mencionados y la Resolución 627 de 2006. Así mismo, se definieron diversos periodos de evaluación tanto por la normativa colombiana como por el conocimiento del tipo y tiempo de ocurrencia de las actividades socioeconómicas generadoras de ruido en el distrito.

- **Determinación de los objetivos de calidad acústica**

Fue desarrollado mediante la mención de manera general de los procedimientos establecidos en la Resolución 627 de 2006, y complementado con lo descrito en las Normas Técnicas Colombianas (NTC) referentes a la medición de ruido.

La segunda etapa comprende las directrices para el establecimiento del sistema, en la que se incluyen las etapas de planificación, técnicas de medición, manejo de información y mantenimiento y calibración, desarrolladas con base en la información científica acerca de la composición de la infraestructura del sistema y los procedimientos para el manejo de la información, las cuales son “State of the art on real time noise mapping systems”, desarrollado por la Andrea Cerniglia y demás protocolos de medición existentes, y el esquema general de equipos y su mantenimiento y calibración, desarrollando un modelo general a partir de los contemplados por diversas compañías distribuidoras de equipos para la medición de ruido; Cada uno de estos fueron analizados y modificados sus requerimientos con el fin que de que esté enmarcado dentro de la Resolución 627 de 2006.

5.6. TOMO VI - Lineamientos para el diseño del sistema de alerta temprana por degradación ambiental e inundación de la ciudad

Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) son un instrumento basado en un conjunto de procedimientos a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso de origen natural o antropogénico de carácter previsible, mediante la recolección y procesamiento de datos e información que permitan anticiparse con nivel de certeza en el tiempo y el espacio a la ocurrencia de desastres con el fin de disminuir la vulnerabilidad de las comunidades (Ocharan, 2007; UNESCO San José, 2012) y ecosistemas a ello. Estos

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

son elementos primordiales en lo relacionado a la gestión del riesgo a desastres, evitando la pérdida de vidas y contribuyendo a la disminución del impacto económico y material de poblaciones vulnerables (ISDR, 2006; UNESCO San José, 2012).

La metodología establecida para la realización de los lineamientos para el diseño de SAT por degradación ambiental e inundaciones del distrito de Cartagena consistió en una revisión bibliográfica para la determinación de diferentes aspectos que permitieron la realización de los procedimientos establecidos en los capítulos del documento.

Estos aspectos pueden sintetizarse de la siguiente manera:

- **Revisión de estado del arte y/o antecedentes de SAT a nivel mundial, regional y local.**
- **Aspectos legales**

Se identificó el marco normativo para cada uno de los sistemas de Alerta temprana, estableciendo la Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres como directriz general para la realización de los lineamientos.

- **Guías para la elaboración de lineamientos para los SAT**

Se consideraron guías internacionales y nacionales para determinar los elementos presentes e identificar los procedimientos generales a considerarse dentro de los lineamientos de los SAT. La guía usada a nivel internacional fue el documento publicado por la Tercera Conferencia Internacional sobre Alerta Temprana (EWC III por sus siglas en inglés), celebrada en Bonn, Alemania del 27 al 29 de marzo de 2006 que establece cuatro elementos de la alerta temprana (ISDR, 2006; Oktari *et al*, 2014) (Figura 56): (1) conocimiento de los riesgos, (2) seguimiento técnico y servicio de alerta, (3) comunicación y difusión de las alertas, y (4) capacidad de respuestas comunitarias.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---



Figura 56. Elementos de la alerta temprana

Fuente: adaptado de (ISDR, 2006)

En Colombia, se desarrolló en el presente año la Guía para la Implementación de SAT de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – Colombia que establece que para la implementación de SAT, independientemente del grado de sofisticación o de implementación tecnológica, de las particularidades de la región o cuenca, del acceso geográfico, de la disponibilidad de información geofísica, de las comunicaciones existentes y de los recursos disponibles, se aconseja el seguimiento de varias tareas, con el objetivo de sacar provecho máximo de la información disponible (Figura 57).

- *Información ambiental secundaria: se revisó información ambiental del distrito de Cartagena que permitieran establecer los antecedentes de los lineamientos. Así mismo, se consideró información del Sistema de Información Ambiental de Colombia y de las Entidades ambientales del país como el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales (IDEAM).*
- *Información sobre riesgos: se revisó el Plan Distrital de Gestión del Riesgo-Cartagena de Indias (Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias D.T y C., 2013) y otros documentos relacionados con riesgos como el Estudio de Valoración de los Niveles de Riesgo (Universidad de Cartagena, 2010) y el Informe del Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: GEO Cartagena (PNUMA, 2009).*

El diseño del sistema de monitoreo inteligente considerado dentro del SAT también hace parte del proceso metodológico. Este diseño se planteó por medio de cuatros subsistemas: meteorológico, monitoreo y control; suelos y escorrentías, y cuerpos de aguas. Dentro de

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	---	---

estos subsistemas se considera la medición de las variables ambientales necesarias para cada SAT (por degradación ambiental e inundaciones).

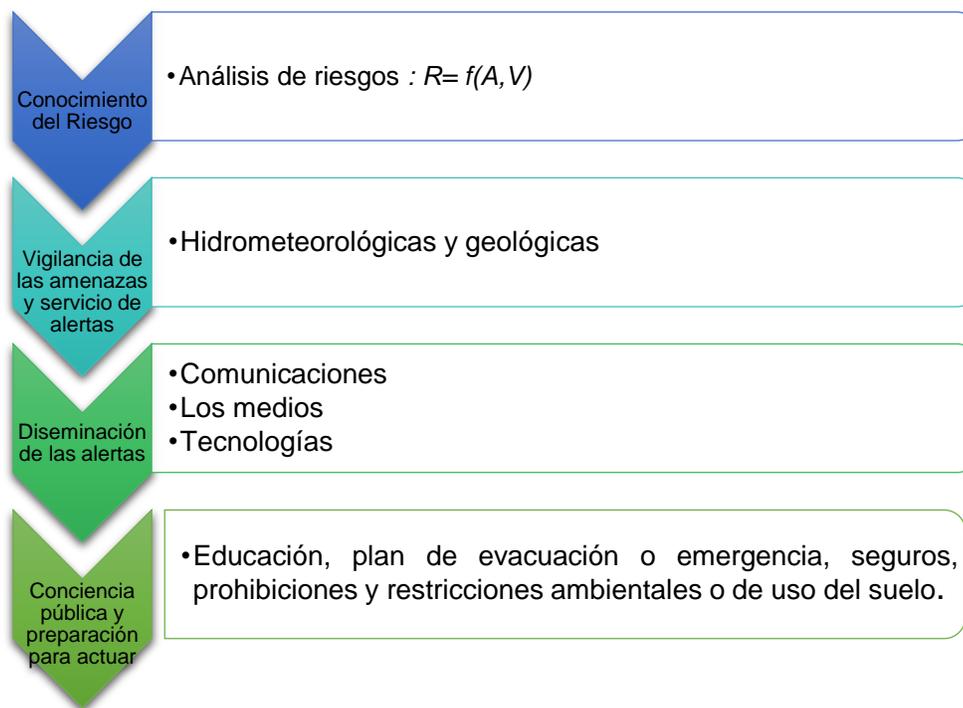


Figura 57. Elementos de un Sistema de Alerta Temprana

Fuente: adaptado de (UNGRD, 2015)

5.7. Tomo VII- Metodología para el Plan de implementación del sistema de monitoreo inteligente ambiental de la ciudad de Cartagena

Se entiende por plan de implementación a la ruta de trabajo que el Establecimiento Público Ambiental de Cartagena debe seguir, en una etapa posterior, para materializar los cinco productos que se listan a continuación y que resultaron del proceso de formulación Sistema de Monitoreo Inteligente Ambiental de la Ciudad de Cartagena.

- Protocolo de la red inteligente de monitoreo y seguimiento de la calidad del agua del sistema de parque lineal de caños y lagos.
- Lineamientos para control de inundaciones para el sistema de caños y lagos.
- Protocolo de la red de monitoreo de calidad de aire existente en la ciudad de Cartagena.
- Lineamientos para establecer la red de monitoreo de calidad de ruido ambiental en la ciudad de Cartagena.

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- Lineamientos para el diseño del sistema de alerta temprana por degradación ambiental e inundación de la ciudad.

El alcance de la ruta de trabajo partió de la consideración de que cada uno de los productos antes listados, está dentro de una de las etapas del ciclo de vida de un proyecto y que para su implementación debe incursionar a la etapa siguiente. Como es sabido, el ciclo de vida de un proyecto agota las siete etapas que se definen Tabla 35 y que se ilustran en la Figura 58.

Tabla 35. Definición de las Etapas del Ciclo de Vida de un Proyecto.

Etapas del Ciclo de Vida de un proyecto		Definición.
1	Identificación del Proyecto	Corresponde a la idea que ha de ser el objeto del proyecto y sobre la cual se debe trabajar.
2	Estudio y Análisis de Alternativas	Las alternativas son las diferentes formas de solucionar un problema o materializar una idea; o lo que es igual, distintos medios para alcanzar un objetivo. En consecuencia, el análisis de alternativas consiste en la comparación de tales alternativas en función de su localización, tecnología, impactos ambientales, costos, riesgos, y otros factores relevantes.
3	Evaluación y Selección de una Alternativa	Involucra la evaluación de las diferentes alternativas propuestas para el proyecto/acción, cada una de ellas en forma independiente o la totalidad de alternativas en conjunto.
4	Diseño definitivo de la alternativa	En esta etapa se consolida la alternativa seleccionada y sobre las misma se definen los diseños detallados, los cronogramas de actividades, los presupuestos, los responsables de su ejecución, los indicadores de éxito, etc.
5	Puesta en Marcha del Proyecto	La puesta en marcha es un proceso que sirve para asegurar que las distintas partes de un sistema involucradas en el proyecto se desenvuelvan según lo planeado y diseñado. La puesta en marcha consiste en el proceso de arranque, regulación y equilibrado de los diferentes equipos y sistemas de forma programada
6	Operación	En esta fase el proyecto adquiere su realización objetiva, es decir, que la unidad productiva instalada inicia la generación del producto, bien o servicio, para el cumplimiento del objetivo específico orientado a la solución del problema
7	Evaluación y Seguimiento	Se evalúa si el proyecto es la acción-respuesta al problema, oportunidad o necesidad. Para ello, es necesario verificar después de un tiempo razonable de su operación, si efectivamente el problema ha sido solucionado por la intervención del proyecto

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

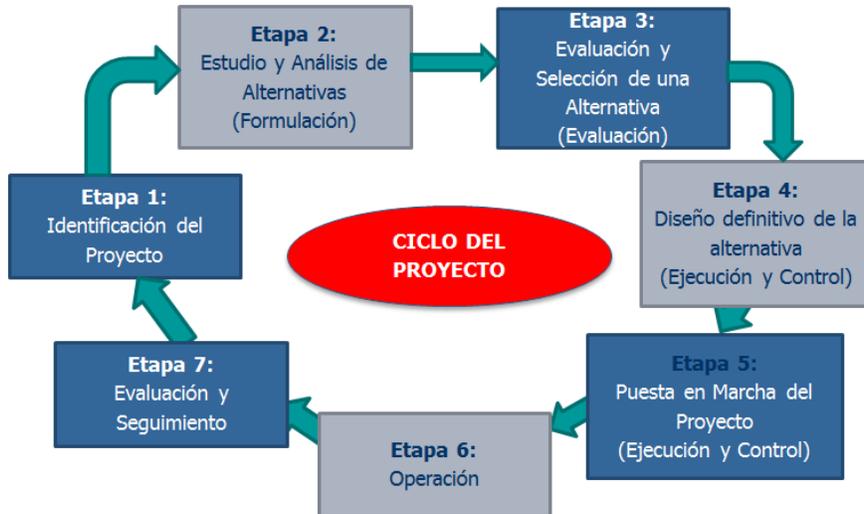


Figura 58. Esquema del Ciclo de Vida de un Proyecto.

Como se puede notar, de los cinco productos formulados por el Sistema de Monitoreo Inteligente Ambiental de la Ciudad de Cartagena hay dos que corresponden a protocolos y tres que corresponden a lineamientos. Se considera que dentro del ciclo de vida del presente proyecto los productos correspondientes a protocolos se encuentran en el nivel de acabado que demanda la culminación de la etapa de diseño definitivo, ya que cuentan con diseño detallado, cronograma de actividades, presupuesto, responsables de la ejecución e indicadores de éxito; mientras que los lineamientos se encuentran en el nivel de acabado que demanda la culminación de la etapa de selección de alternativas, ya que cada lineamiento comprende una directriz específica que se puede considerar como una alternativa seleccionada.

De esta forma se tiene que el Plan de implementación de los productos correspondientes a protocolos suministrará la ruta de trabajo que el Establecimiento Público Ambiental de Cartagena debe seguir para incursionar en la etapa de puesta de marcha. Por su parte el Plan de Implementación de los productos correspondientes a Lineamientos suministrará la ruta de trabajo para abordar la etapa de diseño definitivo.

5.8. TOMO VIII - Inscripción en el banco de proyecto del plan de implementación del sistema de monitoreo inteligente de la calidad ambiental del distrito de Cartagena.

En este tomo se suministran los insumos al Establecimiento público ambiental de Cartagena para la inscripción, en el Banco de Inversión de Proyectos del departamento Nacional de Planeación, del Sistema inteligente de monitoreo de calidad ambiental del recurso hídrico en la ciudad de Cartagena en el parque lineal de caños y lagos internos.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

En este sentido se aplica la Metodología General para la Formulación de Proyectos de Inversión Pública – MGA del Sistema General de Regalías del Departamento Nacional de Planeación.

ANEXOS

Anexo 1. Registros de mediciones de nivel de agua.

- Mediciones 29 de septiembre

Puente Las Palmas			Puente Román		
Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)	Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)
6:00	0,97	-0,09	6:00	0,43	0,03
6:30	0,96	-0,07	6:30	0,42	0,04
7:00	0,93	-0,04	7:00	0,40	0,06
7:30	0,90	-0,01	7:30	0,38	0,08
8:00	0,89	0,00	8:00	0,34	0,12
8:30	0,83	0,05	8:30	0,32	0,14
9:00	0,79	0,09	9:00	0,27	0,19
9:30	0,78	0,10	9:30	0,25	0,21
10:00	0,77	0,12	10:00	0,22	0,24
10:30	0,71	0,18	10:30	0,19	0,27
11:00	0,70	0,18	11:00	0,17	0,29
11:30	0,70	0,19	11:30	0,17	0,29

12:30	0,67	0,22	12:00	0,15	0,31
13:00	0,68	0,20	12:30	0,14	0,32
13:30	0,69	0,19	13:00	0,15	0,31
14:00	0,70	0,18	13:30	0,16	0,30
14:30	0,75	0,13	14:00	0,17	0,29
15:00	0,76	0,13	14:30	0,21	0,25
15:30	0,79	0,09	15:00	0,24	0,22
16:00	0,84	0,04	15:30	0,28	0,18
16:30	0,86	0,03	16:00	0,30	0,16
17:00	0,86	0,02	16:30	0,32	0,14
17:30	0,90	-0,01	17:00	0,35	0,11
18:00	0,92	-0,04	17:30	0,36	0,10
			18:00	0,32	0,14

Espíritu Manglar			Puente Torices		
Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)	Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)
6:00	0,60	0,00	6:00	0,57	0,00
6:30	0,61	-0,01	6:30	0,58	-0,01
7:00	0,61	-0,01	7:00	0,58	-0,02
7:30	0,59	0,01	7:30	0,58	-0,02
8:00	0,58	0,02	8:00	0,59	-0,02
8:30	0,56	0,04	8:30	0,58	-0,01
9:00	0,55	0,05	9:00	0,57	0,00
9:30	0,52	0,08	9:30	0,56	0,01
10:00	0,50	0,10	10:00	0,55	0,02
10:30	0,49	0,12	10:30	0,54	0,03
11:00	0,46	0,14	11:00	0,53	0,04
11:30	0,44	0,17	11:30	0,52	0,05
12:00	0,42	0,18	12:00	0,51	0,06
12:30	0,40	0,20	13:00	0,50	0,07

13:00	0,39	0,21	13:30	0,49	0,08
13:30	0,38	0,22	14:00	0,48	0,09
14:00	0,38	0,22	14:30	0,48	0,09
14:30	0,38	0,22	15:00	0,48	0,09
15:00	0,41	0,20	15:30	0,48	0,09
15:30	0,42	0,18	16:00	0,49	0,08
16:00	0,44	0,16	16:30	0,49	0,08
16:30	0,46	0,14	17:00	0,50	0,07
17:00	0,47	0,13	17:30	0,51	0,06
17:30	0,49	0,11			
18:00	0,51	0,10			

Puente Jiménez			La Bocana		
Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)	Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)
6:00	1,03	0,412	6:00	0,42	-0,60
6:30	1,02	0,422	6:30	0,44	-0,58
7:00	1,01	0,432	7:00	0,40	-0,62
7:30	0,97	0,472	7:30	0,41	-0,61
8:00	0,96	0,482	8:00	0,42	-0,60
8:30	0,93	0,512	8:30	0,43	-0,59
9:00	0,89	0,552	13:30	0,37	-0,65
9:30	0,85	0,592	14:30	0,34	-0,68
10:00	0,83	0,612	15:30	0,33	-0,69
10:30	0,80	0,642	16:00	0,36	-0,66
11:00	0,77	0,672	16:30	0,35	-0,68
11:30	0,76	0,682	17:00	0,37	-0,65
12:00	0,75	0,692	17:30	0,38	-0,64
12:30	0,74	0,702	18:00	0,40	-0,63

13:00	0,74	0,702
13:30	0,76	0,682
14:00	0,78	0,667
14:30	0,80	0,647
15:00	0,83	0,617
15:30	0,86	0,582
16:00	0,87	0,572
16:30	0,89	0,552
17:00	0,93	0,512
17:30	0,96	0,482
18:00	0,97	0,472

Mareas CIOH		
Hora	Fecha	Cota Abs (m)
5:08	29/09/2015	-0,03
12:23	29/09/2015	0,26
19:43	29/09/2015	-0,01

- Mediciones 14 de octubre

Puente Las Palmas			Puente Román		
Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)	Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)
5:52	0,27	0,38	5:56	0,29	0,13
7:45	0,34	0,31	7:53	0,23	0,19
9:40	0,47	0,18	9:32	0,17	0,25
11:30	0,43	0,22	11:20	0,12	0,30
13:50	0,46	0,19	13:45	0,14	0,28
15:40	0,51	0,14	15:32	0,17	0,25
17:20	0,54	0,11	17:25	0,24	0,18
19:20	0,58	0,07	19:10	0,25	0,17
21:15	0,61	0,04			

Laguna El Cabrero			Puente Torices		
Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)	Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)
6:14	0,28	0,12	6:20	0,35	0,06
8:46	0,23	0,17	8:30	0,33	0,08
10:20	0,19	0,21	10:24	0,31	0,10
12:05	0,15	0,25	12:10	0,27	0,14
14:18	0,14	0,26	14:23	0,25	0,16
16:06	0,19	0,21	16:14	0,25	0,16
18:05	0,22	0,18	18:10	0,27	0,14
19:47	0,24	0,16	19:58	0,27	0,14
21:30	0,28	0,12			

La Bocana			Puente Jiménez		
Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)	Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)
6:00	0,41	-0,62	6:01	0,93	0,51
7:00	0,40	-0,63	8:11	0,86	0,58
8:00	0,38	-0,64	9:00	0,80	0,64
9:00	0,38	-0,64	11:53	0,74	0,70
10:00	0,38	-0,65	14:07	0,79	0,65
11:00	0,37	-0,66	15:53	0,83	0,61
12:00	0,36	-0,67	17:49	0,87	0,57
13:00	0,34	-0,68	19:32	0,90	0,54
14:00	0,32	-0,70	21:26	0,93	0,51
15:00	0,32	-0,70			
16:00	0,32	-0,71			
17:00	0,32	-0,71			
18:00	0,33	-0,70			
19:00	0,34	-0,69			
			Mareas CIOH		
			Hora	Fecha	Cota Abs (m)
			2:42	14/10/2015	0,0
			11:53	14/10/2015	0,2

20:00	0,35	-0,68
21:00	0,36	-0,67
22:00	0,37	-0,66

- Mediciones 3 y 4 de noviembre (Celdas en azul claro indican los registros del día 4 de noviembre).

Puente Las Palmas			Puente Román		
Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)	Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)
6:00	0,54	0,11	6:04	0,21	0,21
9:07	0,57	0,13	9:17	0,25	0,17
12:23	0,56	0,14	12:15	0,26	0,16
15:35	0,46	0,24	15:25	0,16	0,26
18:02	0,38	0,32	18:00	0,07	0,35
20:45	0,45	0,25	20:40	0,14	0,28
23:48	0,64	0,06	23:45	0,33	0,09
2:52	0,64	0,06	2:52	0,34	0,08

5:57	0,55	0,15	5:11	0,22	0,20
------	------	------	------	------	------

Laguna El Cabrero			Puente Torices		
Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)	Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)
6:50	0,33	0,22	7:10	0,34	0,07
8:50	0,21	0,19	8:56	0,33	0,08
12:50	0,15	0,25	12:54	0,35	0,06
15:52	0,14	0,26	15:55	0,33	0,08
18:07	0,11	0,29	18:09	0,28	0,13
20:54	0,12	0,28	21:10	0,26	0,15
23:58	0,24	0,16	0:15	0,32	0,09
3:11	0,31	0,09	3:30	0,35	0,06
6:15	0,23	0,17	6:30	0,35	0,06

La Bocana			Puente Jiménez		
Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)	Hora	Cota Rel (m)	Cota Abs (m)
6:00	0,35	-0,67	6:27	0,83	0,61
7:00	0,34	-0,68	9:23	0,83	0,62
8:00	0,35	-0,67	12:40	0,89	0,55
9:00	0,36	-0,66	15:40	0,78	0,66
10:00	0,37	-0,65	18:20	0,71	0,73
11:00	0,37	-0,65	20:51	0,78	0,66
12:00	0,37	-0,65	23:51	1,00	0,44
13:00	0,38	-0,64	3:00	0,98	0,46
14:00	0,37	-0,65	6:05	0,87	0,57
15:00	0,35	-0,67			
16:00	0,34	-0,68			
17:00	0,33	-0,69			
18:00	0,32	-0,70			
19:00	0,30	-0,72			

Mareas CIOH		
Hora	Fecha	Cota Abs (m)
0:31	3/11/2015	-0,12
7:15	3/11/2015	0,06

20:00	0,31	-0,71	11:00	3/11/2015	0,02
21:00	0,29	-0,73	17:48	3/11/2015	0,21
22:00	0,31	-0,71	1:02	4/11/2015	-0,11
23:00	0,33	-0,69	7:44	4/11/2015	0,09
0:00	0,35	-0,68			
1:00	0,37	-0,65			
2:00	0,38	-0,64			
3:00	0,39	-0,63			
4:00	0,39	-0,64			
5:00	0,37	-0,65			
6:00	0,35	-0,68			
7:00	0,35	-0,67			
8:00	0,34	-0,68			

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Collazo, R. (2015). *Calibración de los parámetros detonantes de la metodología SES (1989) en la generación de un escenario de amenaza por deslizamientos en Cartagena*. Trabajo de final de Maestría en Ingeniería Civil – Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.
- Alcaldía Mayor de Cartagena - Departamento Administrativo de Valorización Distrital. (s.f.). Obras por Beneficio General. Obtenido de <http://www.cartagena.gov.co/Cartagena/Valorizacion/Documentos/informacion.pdf>
- Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias D.T y C. (2013). PLAN DISTRITAL DE GESTIÓN DEL RIESGO - CARTAGENA DE INDIAS. Cartagena de Indias.
- Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, Departamento Administrativo de Valorización Distrital-Consorcio Consultores Cartagenos. (2009). *Estudios y Diseños del Plan Maestro de Drenajes Pluviales del Distrito de Cartagena de Indias*.
- Álvarez P, R. D. (8 de mayo de 2010). El Universal Cartagena. Obtenido de <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/cano-juan-angola-merced-de-la-indolencia>
- Alvarez Vanessa, E. Q. (2015). Metodología para la selección de sitios de monitoreo atmosférico en zonas urbanas afectada por las emisiones de fuentes móviles. 30.
- BELTRAN. A & Suarez. L,. (2004). Diagnóstico Ambiental de los Cuerpos internos de agua de la Ciudad de Cartagena de Indias. . Cartagena: CARDIQUE, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco.
- California Division of Highways (CDH). (1960). *California culvert practice*. Dept. of Public Works, Division of Highways, Sacramento, CA.
- Cámara Comercio Cartagena. (22 de agosto de 2014). Proyectos que impactan a la región. Obtenido de [http://www.cccartagena.org.co/docs/20140902112903_n_PRECENTACION_CP_\(3\).pdf](http://www.cccartagena.org.co/docs/20140902112903_n_PRECENTACION_CP_(3).pdf)
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Consejo Distrital de Cartagena de Indias D.T. y C. (10 de Septiembre de 2008). Acuerdo No. 016 . Cartagena de Indias, Bolívar , Colombia.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- De Ávila Romero, J. (18 de septiembre de 2014). Avenida del Lago y la Ciénaga de Las Quintas también están siendo desocupados. Obtenido de El Universal Cartagena: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/avenida-del-lago-y-la-cienaga-de-las-quintas-fueron-recuperadas-171314>
- De Ávila Romero, J. (19 de septiembre de 2014). Cambuches en la Ciénaga de Las Quintas también están siendo desocupados. Obtenido de El Universal Cartagena: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/cambuches-en-la-cienaga-de-las-quintas-tambien-estan-siendo-desocupados-171430>
- El Universal. (5 de marzo de 2010). EPA empieza recuperación de sectores invadidos en el Caño Juan Angola. Obtenido de <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/epa-empieza-recuperacion-de-sectores-invadidos-en-el-cano-juan-angola>
- Ensuncho, L., García, C., & Ustáriz, G. (1995). Modelación ambiental para la formulación del plan de ordenamiento del sistema de caños, lagunas y ciénagas internos de Cartagena de Indias.
- Establecimiento Público Ambiental Cartagena. (28 de mayo de 2015). EPA Cartagena avanza por la recuperación de caños y lagunas interiores en la ciudad heroica. Obtenido de EPA Cartagena: <http://epacartagena.gov.co/epa-cartagena-avanza-por-la-recuperacion-de-canos-y-lagunas-interiores-en-la-ciudad-heroica/>
- Fondo Nacional de Desarrollo- FONADE; Ingenieros Consultores- HIDROTEC; Empresa de Desarrollo Urbano de Bolívar- EDURBE. (1984). Proyecto para el mejoramiento del sistema de caños, lagunas y ciénagas. Cartagena.
- Franco Idarraga, F. L. (2010). Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*, 97-108.
- García Martínez, E. (18 de enero de 1992). Cartagena: ciudad futuro. Obtenido de El Tiempo: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-15604>
- Gonzalez A., Temimi M., & Khanbilvardi R. (2015) *Adjustment to the curve number (NRCSCN) to account for the vegetation effect on hydrological processes*. *Hydrological Sciences Journal*, 60(4), 591-605, DOI: 10.1080/02626667.2014.898119
- Hawkins, R.H. (1973). *Improved prediction of storm runoff in mountain Watersheds*. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 99 (4), 519–523.
- Hidrotec Ingeniero Consultores - Fonade - Edurbe. (1984). Proyecto para el mejoramiento del sistema de caños, lagunas y ciénagas. Cartagena de Indias.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Instituto de Hidráulica y Saneamiento Ambiental. (2014). Valoración de los niveles de riesgos ambientales en el Distrito de Cartagena de Indias. Cartagena: Universitaria, Centro, Calle de la Universidad.

Instituto de investigación e información geocientífica, minero ambiental y nuclear, Ingeominas. Convenio interadministrativo 005/2000. Alcaldía distrital de Cartagena de Indias. (2001). *Zonificación geotécnica, aptitud y uso del suelo en el casco urbano de Cartagena de Indias, DTC – Bolívar*.

INVEMAR-MADS-Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias-CDKN. (2012). Lineamientos para la adaptación al cambio climático de Cartagena de Indias. Proyecto Integración de la Adaptación al Cambio Climático en la Planificación Territorial y Gestión Sectorial de Cartagena de Indias. Editores: Rojas, G. X., J. Blanco y F. Navarrete. Cartagena. Serie de Documentos Generales del INVEMAR No. 55.

ISDR. (2006). Desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana: Lista de comprobación. EWC III Tercera Conferencia Internacional sobre Alerta Temprana. Bonn, Alemania.

Kirpich, Z. P. (1940). *Time of concentration of small agricultural watersheds*. Civil Eng., 10(6), 362–368.

López Rodríguez, A., Rodríguez Peláez, J. C., Prieto Bayer, L. M., Sierra-Correa, P. C., Moná-Sanabria, Y., Prada Alarcón, N. d., & Caicedo Herrera, D. (2009). Avances en el manejo Integrado de Zonas Costeras en el departament del Cauca (Pacífico Colombiano). INVEMAR No. 33.

Melbourne Water Corporation. (2007). Flood Management and Drainage Strategy. Melbourne.

Meza Altamar, M. (7 de junio de 2015). EPA inicia recuperación de caños y lagunas. Obtenido de El Universal Cartagena: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/epa-inicia-recuperacion-de-canos-y-lagunas-196264>

Ministerio de Desarrollo Económico (MinDesarrollo) – Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS-2000. Sección II-Título D, p. D47. (2000). Recuperado de: http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/6._Sistemas_de_recoleccion_de_aguas.pdf

Musy, A. (1998). *Hydrologie appliquée, Cours photocopié d'hydrologie générale*, Lausanne, Suisse.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

- National Committee on Coastal and Ocean Engineering. (2012). Climate Change adaptation guidelines in coastal management and planning. Engineers Australia.
- North Carolina State University (NCSU). (s.f.). *Module 1, Rainfall-Runoff*. Recuperado de: http://www.bae.ncsu.edu/bae/workshops/dot/pdf/mod1_text3b.pdf
- Nullvalue. (4 de marzo de 1992). Cartagena: en busca de agua perdida. Obtenido de El Tiempo: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-53639>
- PNUMA. (2009). *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: GEO Cartagena*. Cartagena.
- Proyecto Constructivo de Canalización de las Aguas Residuales desde El Sur-35 Hasta El Polígono “El Segre” En El Tm De Lleida (Segrià). (s.f.). Anexo 4. Estudio Hidrológico (p.4). Recuperado de: http://www.paeria.es/fitxers/tauler/gepu_264-05/1-annexes/1.1-annex_4.pdf
- Reales, A. P., & Esquivia, L. S. (2010). Diagnóstico ambiental de los cuerpos internos de agua de la ciudad de Cartagena de Indias.
- Schneider, L.E. & McCuen, R.H. (2005). *Statistical guidelines for curve number generation*. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131 (3), 282–290. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:3(282).
- Sharifi, S. & Hosseini, S. (2011). *Methodology for Identifying the Best Equations for Estimating the Time of Concentration of Watersheds in a Particular region*. *J. Irrig. Drain Eng.*, 137(11), 712-719.
- Témez, J. R. (1987). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras. MOPU.
- Texas Department of Transportation (Texas-DOT). (2015). *Hydraulic Manual Design, Chapter 4, Section 12, Rational Method*. Recuperado de: http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/rational_method.htm
- Therán Tom, A. (12 de mayo de 2012). Avanza recuperación ambiental de la Ciénaga de Las Quintas. Obtenido de El Universal Cartagena: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/avanza-recuperacion-ambiental-de-la-cienaga-de-las-quintas-76098>
- Tirado, O., Manjarrez, G., & Diaz, C. (2011). Caracterización Ambiental de la Ciénaga de La Quinta Localizada en Cartagena de Indias, Colombia, 2009 – 2010. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 14, 131-139.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Torres Vergel, P. (27 de septiembre de 2012). Relleno enorme y descarado en Manga. Obtenido de El Universal Cartagena: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/relleno-enorme-y-descarado-en-manga-92206>

Torres Vergel, P. (28 de marzo de 2014). Estratégico lote de la Cuarta Avenida tiene destinación específica. Obtenido de El Universal Cartagena: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/estrategico-lote-de-la-cuarta-avenida-tiene-destinacion-especifica-155532>

Tucci, C. E. (2007). Gestión de inundaciones urbanas.

U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (USDOT-FHWA). (2009). Hydraulic Engineering Circular No. 22, Third Edition. *Urban Drainage Design Manual*, p. 3-8. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/10009/10009.pdf>

UNGRD. (2015). Guía para la Implmentación de Sistemas de Alerta Temprana. Bogotá D.C., Colombia.

Universidad de Cartagena. (2010). Valoración de los Niveles de Riesgos Ambientales en el Distrito de Cartagena.

Universidad del Cauca. (2003). Control de inundaciones. Obtenido de http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/P_Proteccion%20contra%20Inundaciones.pdf

Universidad Politécnica de Valencia - Research Institute of Water and Environmental Engineering. (2011). SUFRI Methodology for pluvial and river flooding risk assessment in urban areas to inform decision-making.

USACE. (2006). “*River Analysis System: User’s Manual Version 4.0 Beta*”, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, USA.

USDA Natural Resources Conservation Service (USDA-NRSC), Conservation Engineering Division. (1986). *Urban hydrology for small watersheds, technical release 55 (TR-55) [en línea]*. Washington, DC: USDA-NRCS. Recuperado de: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf

USDA Soil Conservation Service (USDA-SCS). (1985). *National engineering handbook, Section 4, hydrology*. Washington, DC: USDA-SCS.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Diciembre-2015</p>
---	--	---

Vargas R. & Díaz-Granados. (1998). *Curvas Sintéticas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia, Regionalización e implementación de un SIG*, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes.

Vargas, R & Díaz-Granados (1997). *Curvas Sintéticas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia*, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes.

Vélez, J. & Botero, A. (2011). *Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales*. *Dyna*, 78(165), 58-71. Recuperado de:
<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640/26095>

Weibull, W. (1939). *A statistical study of the strength of material*. Ing. Vetenskaps Akad. Handl. (Stockholm), 151, p. 15.

Weibull, W. (1939). A statistical theory of the strength of material. *Proc. Roy. Swedish Inst. Eng. Res.* 151(1).